



**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**SIMULASI GATECYCLE PENGARUH GASIFIKASI  
BOILER DARI MARINE FUEL OIL MENJADI  
BAHAN BAKAR GAS TERHADAP PERFORMA  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP 50 MW  
UBP PERAK**

**FAIZAL HAFIZ TAQRIRI  
NRP 2110 100 019**

**DosenPembimbing  
Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FakultasTeknologiIndustri  
InstitutTeknologiSepuluhNopember  
Surabaya 2015**



***FINAL PROJECT - TM 141585***

***THE BOILER GASIFICATION FROM MARINE  
FUEL OIL TO BE FUEL GAS EFFECT TO 50  
MW PT. INDONESIA POWER UBP. PERAK  
STEAM POWER PLANT PERFORMANCE GATE  
CYCLE SIMULATION***

***FAIZAL HAFIZ TAQRIRI  
NRP 2110 100 019***

***Supervisor  
Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng***

***Mechanical Engineering Departement  
Faculty of Industrial Technology  
SepuluhNopember Institute of Technology  
Surabaya 2015***

**SIMULASI GATECYCLE PENGARUH GASIFIKASI  
BOILER DARI MARINE FUEL OIL MENJADI BAHAN  
BAKAR GAS TERHADAP PERFORMA PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA UAP 50 MW UBP PERAK  
(STUDI KASUS PLTU PT. INDONESIA POWER PERAK,  
SURABAYA)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Konversi Energi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**FAIZAL HAFIZ TAQRIRI**

NRP. 2110 100 019

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng...... (Pembimbing)  
(NIP. 196505051990031005)
2. Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME...... (Penguji I)  
(NIP. 195312191981031001)
3. Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc...... (Penguji II)  
(NIP. 196604021989031002)
4. Vivien Suphandani, ST, M.Eng, PhD..... (Penguji III)  
(NIP. 198105292003122001)

**SURABAYA**

**Juli, 2015**

# **SIMULASI GATECYCLE PENGARUH GASIFIKASI BOILER DARI MARINE FUEL OIL MENJADI BAHAN BAKAR GAS TERHADAP PERFORMA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP 50 MW UBP PERAK**

**(Studi Kasus PLTU PT. Indonesia Power Perak, Surabaya)**

**Nama Mahasiswa : Faizal Hafiz Taqriri**  
**NRP : 2110 100 019**  
**Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS**  
**Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.eng.**

## ***Abstrak***

*Di Indonesia, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik yang paling banyak berkontribusi dalam penyediaan energi dalam bentuk listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada umumnya menggunakan bahan bakar batu bara atau minyak. Namun harga bahan bakar batu bara dan minyak yang kian melonjak menyebabkan pembengkakan nominal biaya operasi PLTU itu sendiri. Marine Fuel Oil (MFO) sebagai bahan bakar yang selama ini digunakan boiler pada PLTU UBP Perak dirasa kurang efisien dalam penggunaannya, sedangkan Bahan Bakar Gas dengan harga yang lebih rendah dibanding Marine Fuel Oil, memiliki Low Heating Value (LHV) yang lebih tinggi. Selain itu, Bahan Bakar Gas memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan partikel Marine Fuel Oil, semakin kecil partikel bahan bakar, maka proses terbakarnya bahan bakar semakin cepat, Bahan Bakar Gas menghasilkan gas emisi polutan sisa pembakaran yang bersih dari SO<sub>2</sub> dan SO<sub>3</sub>. Pada tugas akhir ini akan dicari bagaimana pengaruh variasi bahan bakar Marine Fuel Oil dan Bahan Bakar Gas dengan perubahan pembebanan terhadap performa pembangkit listrik.*

*Analisa yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan analisa termodinamika, ASME PTC 6 dan dibantu dengan software GateCycle 5.61.0.r. GateCycle merupakan*

*software yang dapat menghitung design pembangkit yang dimodelkan. Data pembangkit existing didapat dari P&ID, dari P&ID tersebut disusun permodelan pembangkit yang dibuat sama dengan keadaan pembangkit dalam keadaan nyata. Setelah permodelan dilakukan, selanjutnya akan dilakukan adalah memvariasikan bahan bakar boiler dan variasi pembebanan. Setelah itu dilakukan perbandingan hasil antara perhitungan termodinamika dengan hasil yang didapat dari GateCycle. Hal tersebut dilakukan agar dapat diketahui perbedaan (error) yang terjadi antara perhitungan secara termodinamika dengan hasil yang ditunjukkan oleh software GateCycle. Setelah itu dilakukan perhitungan analisa pada variasi yang menunjukkan performance dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power UBP. Perak.*

*Hasil dari analisa Simulasi GateCycle yang telah dilakukan penggantian bahan bakar dari Marine Fuel Oil menjadi Bahan Bakar Gas pada pembebanan pembangkit sebesar 100% didapatkan flowrate bahan bakar yang diumpankan ke dalam boiler mengalami penurunan sebesar 17,08%, untuk flowrate excess air yang dibutuhkan agar terjadi pembakaran yang baik mengalami penurunan sebesar 9,5%, Heat Rate yang dihasilkan mengalami penurunan sebesar 0,94% yang identik dengan peningkatan efisiensi pembangkit sebesar 0,95%, Efisiensi Boiler yang didapatkan pun meningkat sebesar 1,1%.*

*Kata kunci : Variasi bahan bakar, performance*

**THE BOILER GASIFICATION FROM MARINE FUEL  
OIL TO BE FUEL GAS EFFECT TO 50 MW PT.  
INDONESIA POWER UBP. PERAK STEAM POWER  
PLANT PERFORMANCE GATE CYCLE SIMULATION**

**(Case Study Power Plant PT. Indonesia Power Perak,  
Surabaya)**

<b>Nama Mahasiswa</b>	<b>: Faizal Hafiz Taqriri</b>
<b>NRP</b>	<b>: 2110 100 019</b>
<b>Jurusan</b>	<b>: Teknik Mesin FTI – ITS</b>
<b>Dosen Pembimbing</b>	<b>: Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.eng.</b>

***Abstract***

*In Indonesia, Steam Power (power plant) is the most power stations contribute to the provision of energy in the form of electricity. Steam Power Plant generally use coal or fuel oil. But the price of coal and fuel oil jumped increasingly causing swelling of nominal power plant operating costs it self. Marine Fuel Oil (MFO) as fuel for boilers used in power plant UBP Perak is less efficient in its use, while gas fuel at a price lower than the Marine Fuel Oil, has a Low Heating Value (LHV) is higher. Additionally, Fuel Gas has a particle size smaller than the particle Marine Fuel Oil, the smaller the particle fuel, the process of burning the fuel more quickly, Fuel Gas produces gas pollutant emissions clean combustion of SO<sub>2</sub> and SO<sub>3</sub>. In this final project will look for how the effects of variations in fuel Marine Fuel Oil and Fuel Gas with changes in loading on the performance of the power plant.*

*The analysis used in this final project using the thermodynamic analysis, ASME PTC 6 and assisted with software GateCycle 5.61.0.r. GateCycle is a software that can calculate plant design being modeled. Data obtained from the existing plant P&ID, from the P&ID is composed of modeling plant made*

*the same with the real state of the plant in the state. Once the modeling is done, would do next is to vary the boiler fuel and load variations. After that, is done a comparison between the results of thermodynamic calculations with the results obtained from GateCycle. This is done in order to know the difference (error) which occurs between thermodynamic calculations with the results shown by the software GateCycle. After the analysis of the variation calculation which shows the performance of Steam Power (power plant) PT. Indonesia Power UBP. Perak.*

*Simulation results of the analysis that has been done GateCycle the fuel replacement of Marine Fuel Oil into Fuel Gas in the imposition of 100% plant obtained flowrate of fuel being fed into the boiler decreased by 17,08%, to flowrate excess air needed to occur good combustion decreased by 9,5%, resulting Heat Rate decreased by 0,94% which is identical with an increase in plant efficiency of 0,95%, obtained Boiler efficiency increased by 1,1%.*

*Keywords: Variation the fuel, performance*

## KATA PENGANTAR

Pada tempatnya yang pertama dan utama di hati ini, penulis panjatkan puji dan rasa syukur kepada Ilahi Rabbi Allah SWT. Kemudian, shalawat serta salam-Nya, mudah mudahan terlimpah curah ke pangkuan Rasulullah Saw. Berkat rahmat dan Kaunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Kelancaran proses penulisan skripsi ini berkat bimbingan, arahan, dan petunjuk serta kerja sama dari berbagai pihak. Penulis dalam kesempatan ini menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ayah dan ibu, Gatot Soedjarwoto dan Budi Utami yang telah berusaha sekuat tenaga untuk membesarkan dan mendidik penulis hingga penulis bisa ada di posisi seperti sekarang. Penulis sangat bersyukur memiliki orang tua yang penuh dengan kasih sayang dalam mendidik penulis.
2. Adik tercinta Irsyad Ramadhan dan Naurah Trixie Fadhilah yang menjadi semangat penulis dalam menjalani studi. Terima kasih untuk segala hal yang telah diberikan kepada Penulis terutama dalam hal moril dan spirituil.
3. Eyang putri tercinta Suharti yang selalu setia mendukung Penulis untuk menyelesaikan studi dengan baik. Terima kasih untuk segala hal yang telah diberikan kepada Penulis terutama dalam hal moril dan spirituil.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, dan ilmu yang tak ternilai harganya. Dan segala motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Saya akan berusaha selalu menjadi orang yang baik dan berguna untuk orang lain.
5. Bapak Dr. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo. ME selaku dosen penguji. Terimakasih atas kesabaran, kebaikan dan sarannya selama ini untuk kesempurnaan tugas akhir ini.



6. Bapak Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc, selaku dosen penguji. Terimakasih atas ilmu dan saran untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
7. Ibu Vivien Suphandani, ST, M.Eng, PhD selaku dosen penguji. Terimakasih atas ilmu dan saran untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
8. Seluruh dosen serta karyawan di Jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan banyak sekali bantuan selama penulis berkuliah, baik akademis maupun non akademis.
9. Karisma Rizal dan Agus Jonianto teman sebangkunku yang selalu melontarkan kekonyolan dan hal-hal yang membuat Penulis menjadi lebih bersemangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Terimakasih atas kesabaran, pengertian, doa dan dukungannya.
10. Teman Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, Tomi, Azwar, Wildan, Bagus, Warida, Rici, Ceri, Ovi, Dina, Soleh, Ardian, Yaumal, Aji, Stefanus, Mas Daniel, Mas Akbar dan lainnya. Terimakasih atas ilmu yang diberikan, bantuan, dukungan dan kenangan yang tak terlupakan.
11. Teman-teman seangkatan M53, terima kasih atas sharing, kekeluargaan, tawa, canda, susah, sedih, senang, bersama kalian semua. Hal yang pernah kita lalui tak akan terlupakan kawan. Terima kasih atas kebersamaan dan kekeluargaannya. M53 dari dulu, sekarang dan nanti tetap berkomunikasi dan bersaudara ya.
12. Teman – teman alumni SMAN 5 Malang, terima kasih atas semua dukungan yang diberikan dalam bentuk apapun kepada penulis.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu. Terima kasih banyak.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii

### BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Peneitian.....	4

### BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Dasar Teori .....	7
2.1.1 Pengertian umum PLTU .....	7
2.2 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	9
2.2.1 Boiler.....	9
2.2.2 <i>Steam Turbine</i> .....	11
2.2.3 Kondensor .....	12
2.2.4 Pompa.....	12
2.2.5 <i>Feedwater Heaters</i> .....	12
2.3 Analisa Termodinamika .....	15
2.3.1 Siklus <i>Rankine</i> .....	15
2.3.2 Perhitungan Kerja dan Perpindahan Kalor.....	17
2.3.3 Analisa <i>Open Feedwater Heater</i> .....	19
2.3.4 Analisa <i>Closed Feedwater Heaters</i> .....	20
2.3.5 Perhitungan Fraksi Massa .....	21
2.3.6 Perhitungan Efisiensi Siklus .....	22
2.3.7 Perhitungan Laju Kalor ( <i>Heat Rate</i> ) .....	22

2.4 Analisa ASME PTC 6.....	22
2.5 Penelitian Terdahulu.....	25
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Permodelan PLTU UBP Perak Kondisi <i>Existing</i> .....	33
3.2 Analisa Termodinamika Pembangkit .....	36
3.3 Analisa Peforma Pembangkit .....	37
3.4 Variasi yang dilakukan .....	39
3.5 <i>Preliminary Result</i> .....	40
<b>BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Data dan Model PLTU PT. Indonesia Power UBP Perak .....	41
4.2 Membangun Permodelan Awal Berdasarkan P&ID PLTU .....	42
4.3 Contoh Perhitungan Menggunakan Analisa Termodinamika .....	47
4.4 Analisa PLTU Setelah Dilakukan Variasi Bahan Bakar ...	50
4.4.1 Analisa Gross Power Setelah Dilakukan Variasi .....	53
4.4.2 Analisa Massa Main Steam Setelah Dilakukan Variasi	55
4.4.3 Analisa Massa Bahan Bakar Setelah Dilakukan Variasi... .....	58
4.4.4 Analisa Massa Udara Setelah Dilakukan Variasi .....	60
4.4.5 Analisa Heat Rate Setelah Dilakukan Variasi .....	62
4.4.6 Analisa Effisiensi Plant Setelah Dilakukan Variasi .....	64
4.4.7 Analisa Effisiensi Boiler Setelah Dilakukan Variasi.....	66
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran .....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	73
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 <i>Air Fuel Ratio</i> bahan bakar .....	2
Tabel 2.1 <i>Characteristics of Natural Gas, Oil, and Coal</i> .....	26
Tabel 3.1 Variasi Bahan Bakar dan Beban pada <i>Boiler</i> PLTU UBP Perak .....	40
Tabel 4.1 Data Spesifikasi Bahan Bakar .....	41
Tabel 4.2 Data Properties Kondisi Eksisting.....	47
Tabel 4.3 Variasi Bahan Bakar <i>Boiler</i> dan Pembebanan Pembangkit.....	51
Tabel 4.4 Properties Pembangkit Setelah Variasi .....	52
Lampiran B Konsumsi Bahan Bakar.....	79

*( Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Boiler</i> kondisi <i>eksisting</i> PLTU UBP Perak.....	1
Gambar 2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) ...	7
Gambar 2.2 Komponen Boiler .....	9
Gambar 2.3 <i>Steam Turbine</i> .....	11
Gambar 2.4 <i>Closed Feed Water Heater</i> Tipe U .....	14
Gambar 2.5 Distribusi Temperatur pada <i>Feed Water Heater</i> .....	15
Gambar 2.6 Siklus <i>Rankine</i> dan T-s Diagram Siklus <i>Rankine</i> ...	16
Gambar 2.7 <i>Open Feed Water Heater</i> .....	19
Gambar 2.8 <i>Closed Feed Water Heater</i> .....	20
Gambar 2.9 Siklus Regeneratif .....	21
Gambar 2.10 Skema Efisiensi <i>Direct Method</i> Boiler.....	24
Gambar 2.11 <i>Excess-air-dependent heat losses and specific “external” costs for the 150 MW boiler firing Thai lignite</i> .....	28
Gambar 2.12 <i>Effect of excess air ratio on boiler heat losses</i> .....	29
Gambar 2.13 Konsumsi bahan bakar <i>FO</i> dan <i>Natural Gas</i> pada beban 310 MW .....	30
Gambar 2.14 Grafik <i>flowrate</i> 4 bahan bakar yang digunakan untuk daya yang sama .....	31
Gambar 3.1 Diagram aliran massa model PLTU UBP Perak.....	33
Gambar 3.2 Permodelan PLTU UBP Perak .....	35
Gambar 3.3 T-s Diagram Model PLTU UBP UBP Perak.....	36
Gambar 3.4 <i>Heat Balance</i> Boiler .....	38
Gambar 3.5 Boiler yang Divariasikan bahan bakar dan pembebanannya.....	39
Gambar 4.1 Skema Aliran Steam Berdasarkan P&ID PLTU.....	42
Gambar 4.2 Permodelan <i>GateCycle</i> dengan memasukkan Semua Komponen .....	43
Gambar 4.3 Hasil Permodelan Pembangkit PT. Indonesia Power UBP. Perak.....	45
Gambar 4.4 Kondisi Awal Pembangkit dengan <i>Marine Fuel Oil</i> sebagai Bahan Bakar Boiler .....	46
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan <i>Gross Power Output</i> pada Setiap Variasi .....	53



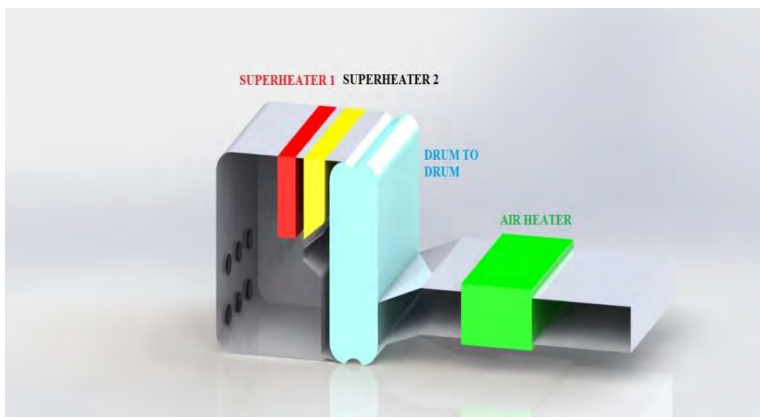
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Massa <i>Main Steam</i> Setelah Dilakukan Variasi.....	55
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan <i>Flow Rate</i> Bahan Bakar pada Setiap Variasi.....	58
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Massa Udara pada Setiap Variasi .....	60
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Heat Rate PLTU pada Setiap Variasi .....	62
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Effisiensi Pembangkit Pada Setiap Variasi.....	64
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Effisiensi <i>Boiler</i> pada Setiap Variasi .....	66
Gambar 4.12 <i>Heat Balance Boiler</i> .....	67

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik yang paling banyak berkontribusi dalam penyediaan energi dalam bentuk listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada umumnya menggunakan bahan bakar batu bara atau minyak. Namun harga bahan bakar batu bara dan minyak yang kian melonjak menyebabkan pembengkakan nominal biaya operasi pada PLTU itu sendiri. *Marine Fuel Oil* (MFO) sebagai bahan bakar yang selama ini digunakan *boiler* pada PLTU PT. Indonesia Power UBP Perak dirasa kurang efisien dalam penggunaannya, sedangkan Bahan Bakar Gas dengan harga yang lebih rendah dibanding MFO memiliki *Low Heating Value* (LHV) yang lebih tinggi.



**Gambar 1.1** Boiler kondisi *existing* PLTU UBP Perak

Bahan bakar *Marine Fuel Oil* (MFO) berwujud *liquid* dalam penggunaannya, dimana MFO *liquid* memiliki dimensi partikel sebesar 0-100 mikro meter. Sedangkan Bahan Bakar Gas yang berwujud gas memiliki dimensi partikel 0,28 nano meter. Dari kedua bahan bakar MFO dan CNG tersebut, maka dimensi partikel CNG lebih kecil dibanding MFO. Dimensi partikel sangat mempengaruhi kecepatan terbakarnya bahan bakar saat proses pembakaran terjadi. Semakin kecil dimensi partikel bahan bakar, maka semakin cepat bahan bakar tersebut teroksidasi.

**Tabel 1.1** *Air Fuel Ratio* bahan bakar

<b>Fuel</b>	<b>By mass</b>
<b>Gasoline</b>	<b>14.7 : 1</b>
<b>Natural Gas</b>	<b>17.2 : 1</b>

Pada pembakaran bahan bakar di *boiler* perlu diperhatikan *Air Fuel Ratio*. *Air Fuel Ratio* berpengaruh pada nyala api, kesempurnaan oksidasi bahan bakar, dan juga emisi gas buang dari *boiler*. *Air Fuel Ratio* yang miskin memiliki perbandingan udara yang lebih besar dari *Air Fuel Ratio* yang ideal. Sebaliknya, apabila perbandingan udara lebih kecil dibanding *Air Fuel Ratio* ideal maka disebut *Air Fuel Ratio* yang kaya.

Penggantian bahan bakar *Marine Fuel Oil* (MFO) menjadi Bahan Bakar Gas juga memiliki kelebihan dan keuntungan masing – masing. *Marine Fuel Oil* dengan senyawa hidrokarbon berupa  $C_{5++}$  memiliki kandungan sulfur yang tinggi, sudah dipastikan sisa pembakaran dengan menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* (MFO) akan menimbulkan emisi polutan yang buruk. Emisi polutan yang dihasilkan adalah sulfur dioksida ( $SO_2$ ) dan sulfur trioksida ( $SO_3$ ), dimana dampak yang ditimbulkan oleh emisi polutan ini sangat berbahaya bagi lingkungan sekitar.

Bahan Bakar Gas memiliki senyawa hidrokarbon berupa metana, dimana kandungan *sulfur* di dalamnya sangat rendah dan hampir tidak ada dibanding dengan bahan bakar *Marine Fuel Oil* (MFO). Dengan tingkat kandungan *sulfur* yang sangat rendah di dalam bahan bakar Bahan Bakar Gas, maka emisi gas buang menjadi bersih dan tidak mengandung sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) maupun sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ) yang berbahaya bagi lingkungan sekitar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang terjadi, maka timbul beberapa permasalahan yang menarik untuk diteliti. Untuk menekan angka pengeluaran PT. PLN (persero) sebesar 75% dari total biaya operasional, maka PT. PLN (persero) mengambil langkah dengan mengganti bahan bakar dari *Marine Fuel Oil* (MFO) menjadi Bahan Bakar Gas. Nilai *Low Heating Value* (LHV) Bahan Bakar Gas lebih tinggi dari *Marine Fuel Oil* (MFO). *Air Fuel Ratio* bahan bakar Bahan Bakar Gas 17,2 : 1 membutuhkan udara yang lebih banyak daripada kondisi *existing* pembangkit yang menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* (MFO) dengan *Air Fuel Ratio* 14,7 : 1.

Analisa yang akan dilakukan pada tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pada performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan adanya penggantian bahan bakar dengan *Low Heating Value* (LHV) lebih tinggi dan perbedaan *Air Fuel Ratio* dari bahan bakar sebelumnya.

## 1.3 Batasan Masalah

Pada analisa berikut diambil beberapa batasan masalah dan asumsi yang akan membantu dalam proses analisa,

perhitungan dan pembahasan. Batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Analisa berdasarkan data operasi PLTU UBP Perak – Grati
2. Kondisi operasi adalah tunak
3. *Heat Loss* pada sistem maupun *pipe line* diabaikan
4. Efek energi kinetik dan potensial diabaikan
5. Perpindahan panas pada sistem tersebut hanya mengamati perpindahan panas secara konduksi dan konveksi serta mengabaikan perpindahan panas secara radiasi
6. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan analisa termodinamika, perpindahan panas, standar ASME PTC6-2004 dan perhitungan yang bersumber dari jurnal internasional
7. Simulasi dilakukan dengan *software* GateCycle *Version 5.61.0.r*

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggantian bahan bakar *boiler* terhadap seluruh *performance* Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Indonesia Power Perak, Surabaya. Sehingga nantinya dapat dijadikan data pendukung dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power Perak, Surabaya.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui apakah kondisi existing sudah baik atau belum

2. Meningkatkan kemampuan dalam mendesain sistem pembangkit dengan bahan bakar tertentu
3. Dapat digunakan sebagai informasi dalam salah satu kiat menekan angka biaya operasi suatu pembangkit listrik
4. Dapat digunakan sebagai data pembandingan dalam pemilihan bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

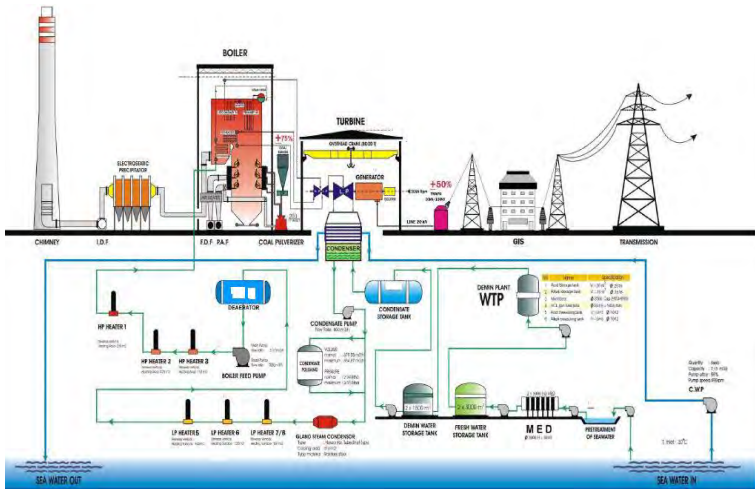
*( Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Dasar Teori

##### 2.1.1 Pengertian umum PLTU



Gambar 2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

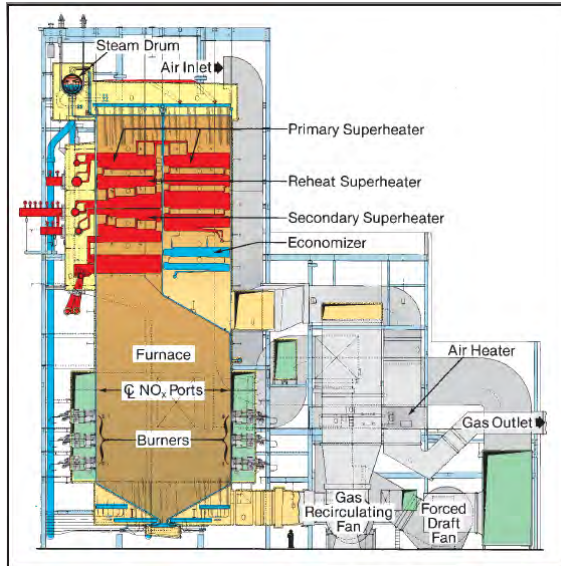
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu bentuk aplikasi dari *Rankine cycle*. Salah satu komponen utama pembangkit listrik adalah *boiler*, *boiler* yang berfungsi mengubah energi kimia menjadi energi panas *flue gas* yang kemudian memanaskan air di dalam pipa – pipa yang berada di dinding *boiler*. Air yang dipanaskan tersebut kemudian berubah menjadi *steam*, setelah itu *steam* tersebut mengalir menuju *steam drum*. Setelah sampai di *steam drum*, *steam* yang masih berupa air akan mengalir turun ke bawah karena berat jenis air yang lebih tinggi yang kemudian akan dipanaskan lagi oleh *economizer* agar berubah menjadi *steam*. Sedangkan *steam* yang berada di dalam *steam drum* akan mengalir menuju *super heater* untuk dipanaskan



kembali. Tujuan memanaskan kembali *steam* yaitu untuk meningkatkan suhu *steam* dan juga untuk meningkatkan tekanan pada *steam* tersebut. Setelah *steam* dipanaskan di *super heater* kemudian *steam* mengalir menuju *steam turbine*. *Steam* masuk ke dalam *steam turbine* melalui *nozzle*. Di dalam *nozzle* energi panas dari *steam* dirubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami pengembangan. Tekanan *steam* pada saat keluar dari *nozzle*, lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam *nozzle*, akan tetapi sebaliknya kecepatan *steam* keluar *nozzle* lebih besar dari pada saat masuk kedalam *nozzle*. *Steam* yang memancar keluar dari *nozzle* diarahkan ke sudu-sudu *turbine* yang berbentuk lengkung dan dipasang di sekeliling roda *turbine*. *Steam* yang mengalir melalui celah-celah di antara sudu-sudu *turbine* itu dibelokkan arahnya mengikuti lengkungan dari sudu *turbine*. perubahan kecepatan *steam* ini menimbulkan gaya yang mendorong sudu dan kemudian memutar poros *turbine*. Dengan demikian efisiensi *turbine* menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil. Sudu – sudu yang berputar tersebut akan memutar poros yang juga terhubung pada generator. Karena generator yang berputar maka generator tersebut akan menghasilkan listrik yang dikonsumsi setiap hari. *Steam* yang telah melewati *steam turbine* akan mengalami penurunan tekanan dan suhu menjadi *saturated steam*. Setelah itu *saturated steam* yang telah mengalami penurunan suhu melewati kondensor. Pada kondensor terjadi proses kondensasi (pendinginan) yang akan merubah *saturated steam* menjadi air kembali yang kemudian akan dipompa kembali ke *boiler* untuk dipanaskan dan begitu seterusnya.

## 2.2 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sederhana

### 2.2.1 Boiler



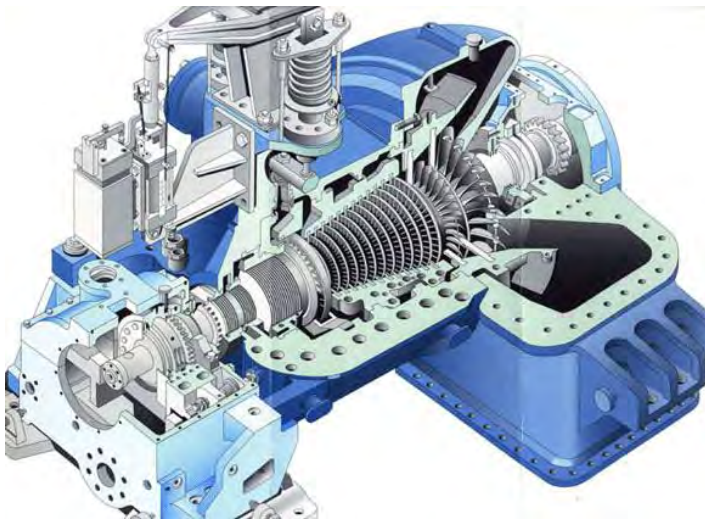
**Gambar 2.2** *Komponen Boiler*

*Boiler* merupakan salah satu peralatan yang berfungsi mengubah air menjadi *steam* yang biasanya terdapat pada suatu perangkat pembangkit. *Boiler* mempunyai susunan komponen – komponen yaitu *furnace*, *steam drum*, *superheater*, *reheater*, *air heater* dan *economizer*. Di dalam *boiler* terdapat pipa – pipa yang dialiri air yang pada bagian dasar terdapat *furnace* sehingga menghasilkan panas. Panas inilah yang digunakan untuk memasak air mengalir di dalam pipa – pipa tersebut. *Steam* yang dihasilkan *boiler* adalah dalam keadaan *superheat* dengan tekanan dan temperature yang tinggi. Selanjutnya *steam* ini akan menggerakkan sudu – sudu *steam turbine*. Gambar 2.2 menunjukkan komponen – komponen dalam *boiler*.

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem *boiler* memiliki nilai tekanan, temperature, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan *steam* yang digunakan. Posisi dari komponen – komponen dari *boiler* ditunjukkan pada gambar 2.2 dan secara umum fungsi dari tiap komponen adalah sebagai berikut:

- *Furnace* : Komponen ini merupakan tempat pembakaran bahan bakar. Beberapa bagian dari *furnace* diantaranya *burner*, *windbox*, dan *exhaust for flue gas*.
- *Steam Drum* : Komponen ini merupakan tempat penampungan air panas dan *steam* yang telah dibangkitkan. *Steam* masih bersifat jenuh (*saturated steam*).
- *Superheater* : *Superheater* merupakan kumpulan pipa *boiler* yang terletak di jalan aliran gas panas hasil pembakaran. Panas dari gas ini dipindahkan ke *saturated steam* yang ada dalam pipa *superheater*, sehingga berubah menjadi *super heated steam*.
- *Air Heater* : Komponen ini merupakan ruang pemanas yang digunakan untuk memanaskan udara luar yang diserap untuk meminimalisasi udara yang lembab yang akan masuk *windbox* selanjutnya digunakan untuk pembakaran. Udara luar ini dipanaskan dengan sisa hasil panas (*flue gas*) yang dihasilkan pembakaran di *furnace*.
- *Economizer* : Komponen ini merupakan ruang pemanas yang digunakan untuk memanaskan air dan air yang terkondensasi dari sistem sebelumnya, maupun air umpan baru.

### 2.2.2 *Steam Turbine*



**Gambar 2.3** *Steam Turbine*

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang merubah energi potensial *steam* menjadi energi kinetik dan selanjutnya menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran sudu yang juga memutar poros turbin. Poros turbin langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan pada mekanisme yang akan digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai macam bidang industri, seperti pada pembangkit listrik dan pada bidang transportasi. Pada proses perubahan energi potensial menjadi energi mekanisnya yaitu dalam bentuk putaran poros dilakukan dengan berbagai cara.

Pada dasarnya turbin terdiri dari dua bagian utama, yaitu *stator* dan *rotor* yang merupakan komponen utama pada turbin, kemudian ditambah dengan komponen lainnya yang merupakan komponen pendukungnya, seperti bantalan atau biasa disebut *bearing*. Terdapat 3 *bearing* pada satu sistem *steam*

*turbine*. Terdiri dari dua *Journal Bearing* sebagai penahan gaya *radial* dari turbin ketika berputar dan satu buah *Trust Bearing* sebagai penahan gaya *axial*.

### 2.2.3 Kondensor

Kondensor adalah alat untuk mengubah uap yang digunakan untuk memutar *steam turbine* menjadi fase cair jenuh dengan sistem kondensasi. Hasil dari kondensasi ditampung dalam *hotwell*, kemudian dipompa ke *boiler* dengan melalui *feedwater heater*. Dalam instalasi ini, kondensor yang digunakan adalah jenis *shell and tube* dimana air dingin yang berasal dari air laut mengalir di dalam *tube* dan uap mengalir di luar *tube*, di dalam *shell*.

### 2.2.4 Pompa

Pompa merupakan peralatan untuk mengalirkan fluida dari tekanan rendah ke tekanan tinggi. Pompa pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap terdiri dari beragam jenis dan fungsi, salah satunya adalah *boiler feed pump*. *Boiler feed pump* menjadi bagian tidak terpisahkan dari sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dimana pompa ini memiliki fungsi untuk mensuplai air dalam proses pembakaran di dalam *boiler*. Air yang dimaksud merupakan hasil kondensasi uap keluaran dari *kondensor*, fluida dalam kondisi uap membutuhkan energi yang lebih besar untuk dialirkan dibandingkan dalam kondisi cair. Pompa yang banyak digunakan di PLTU adalah :

- *Condensate pump* adalah sebuah pompa yang berfungsi untuk memompa air pengisi dari *hotwell* (penampung air kondensor) ke *deaerator*.
- *Boiler feed pump* adalah pompa bertekanan tinggi yang berfungsi untuk memompa air dari *deaerator* ke *boiler*.

### 2.2.5 Feedwater heater

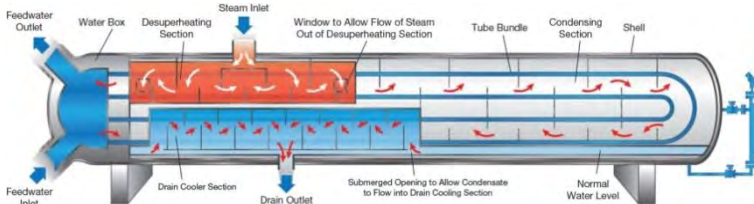
*Feedwater heater* merupakan suatu peralatan yang digunakan pada siklus pembangkit uap regenerative. Dengan

adanya *feedwater heater* ini, diharapkan ada dua hal yang bisa diraih, yaitu yang pertama untuk meningkatkan temperatur dari *feedwater heater* ini, diharapkan ada dua hal yang bisa diraih, yaitu yang pertama untuk meningkatkan temperatur dari *feedwater heater* yang mana akan meningkatkan efisiensi keseluruhan. Kedua, yaitu untuk meminimalkan efek termal pada *boiler*. Prinsip kerja dari *feedwater heater* yaitu dengan memanaskan lagi air keluaran kondensor dengan menggunakan ceratan uap dari *turbine* dan pada instalasi tertentu ditambahkan juga *drain* dari *feedwater heater* lainnya. Umumnya, *feed water heater* menggunakan gabungan beberapa pemanas dengan tekanan tertentu sesuai dengan tekanan yang dicerat dari turbin. Jumlah dan tipe dari *feed water heater* sangat tergantung dari siklus uapnya, tekanan operasi dari siklusnya.

Pada umumnya, *plant* yang kecil hanya memiliki sedikit unit *feed water heater*. Sedangkan pada pabrik industri besar atau pada *plant* yang besar, lima sampai tujuh *feed water heater* merupakan bagian dari *design* pabrik atau pembangkit tersebut. *Feed water heater* dapat diklasifikasikan baik sebagai tipe *closed* dan *open* maupun yang dirancang untuk beroperasi pada tekanan rendah atau tinggi.

*Closed feed water heater* merupakan *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Uap yang dicerat dari turbin akan dikondensasikan pada sisi *shell*, sementara *feed water* (air pengumpan) akan masuk melalui sisi *tube* dan menyerap panas dari uap tadi sehingga akan meningkatkan temperatur *feed water*. Kebanyakan dari *feed water heater* memiliki *bundle* yang terdiri dari *tube* dengan jumlah besar yang dibengkokkan dalam bentuk U sehingga *design* seperti ini disebut *U-tube heat exchanger* atau *U-tube feed water heater*. *Tube* dalam jumlah besar tersebut dapat di-*expand* atau dilas ke *tube sheet* pada salah satu akhir dari *shell*. Sejumlah *baffle* dan piringan pendukung *tube* digunakan untuk mengarahkan aliran, meminimalkan vibrasi *tube*, mengurangi erosi, dan meningkatkan perpindahan panas. Untuk *feed water heater* yang memiliki biaya

terendah biasanya memiliki bentuk yang panjang, horizontal, dan di-*design* untuk dua laluan dengan kecepatan air yang tinggi.



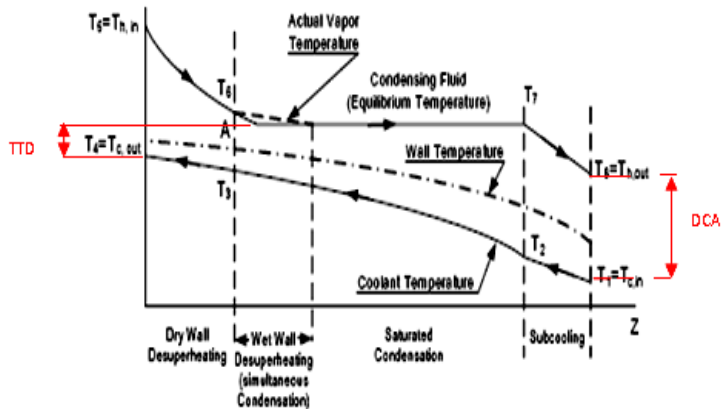
**Gambar 2.4** *Closed Feed Water Heater Tipe U*

*Design U-tube* seperti pada gambar 2.4 merupakan *closed feed water heater* yang sering diminati untuk penggunaan *feed water heater* pada pembangkit listrik saat ini. *Design* seperti ini dapat meminimalisir masalah *ekspansi* dari *tube* yang terhubung dengan *tube sheet*. Akan tetapi karena bentuknya yang berupa U maka *heat exchanger* jenis ini tidak mudah untuk dibersihkan secara mekanik. Tetapi, dengan penggunaan kualitas air yang bagus maka permasalahan ini dapat dikurangi secara signifikan.

*Feed water heater* beroperasi pada tiga zona operasi. Ketiga zona tersebut yaitu:

- *Desuperheating zone (DSZ)* : Daerah dalam sisi *shell* yang disekat – sekat oleh *baffle*. Pada zona ini terjadi penurunan temperatur uap panas lanjut sampai pada temperatur uap jenuhnya. Pada zona ini tidak terjadi perubahan fasa.
- *Condensing zone (CZ)* : Daerah terbesar pada *feed water heater*. Pada zona ini terjadi proses perubahan fasa dimana uap jenuh berubah menjadi cair jenuh.
- *Subcooling zone (SCZ)* : Daerah yang juga disekat – sekat oleh *baffle*. Pada zona ini terjadi penurunan temperatur sampai dibawah termperatur cair jenuh untuk mengurangi potensi kerusakan dan erosi pada pipa dan

katup akibat *flashing*. Perubahan fasa tidak terjadi pada zona ini.



**Gambar 2.5** Distribusi Temperatur pada *feed water heater*

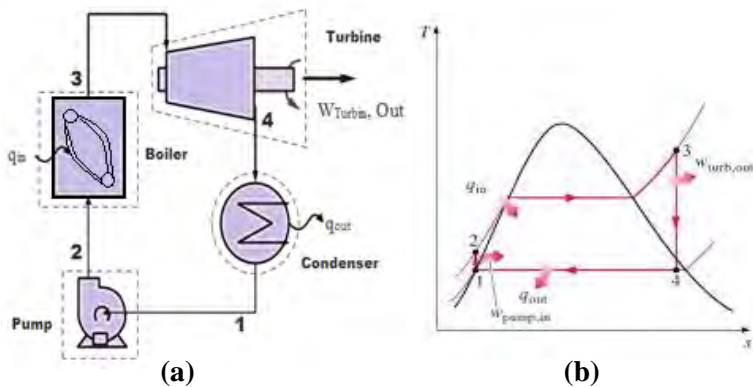
TTD pada gambar 2.5 memiliki arti *terminal temperature difference* yang berarti selisih antara temperatur saturasi uap ceratan dan temperatur keluar dari air pengumpan. Sedangkan DCA merupakan singkatan dari *drain cooling temperature*, yaitu selisih antara temperatur uap ceratan keluar dari pemanas dengan temperatur *feedwater heater* masuk pemanas.

## 2.3 Analisa Termodinamika

### 2.3.1 Siklus Rankine

Siklus *Rankine* merupakan siklus tenaga uap paling sederhana yang merupakan modifikasi dari siklus *Carnot*, di mana proses pemanasan dan pendinginan pada siklus ini terjadi pada tekanan yang tetap. Siklus *Rankine* ideal digambarkan sebagai berikut :





**Gambar 2.6** Siklus Rankine dan T – s diagram Siklus Rankine

Siklus *Rankine* terdapat 4 proses prinsip kerja, setiap proses mengubah keadaan fluida (tekanan dan atau wujud). Yaitu:

- ❖ Proses 1 – 2 :  
Air dipompa dari tekanan  $P_1$  menjadi  $P_2$ . Langkah ini adalah langkah kompresi isentropis, dan proses ini terjadi pada pompa air pengisi.
- ❖ Proses 2 – 3 :  
Air bertekanan ini dinaikan temperaturnya hingga mencapai titik cair jenuh lalu air berubah wujud menjadi uap jenuh, setelah itu uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap lanjut. Langkah ini ada isobar dan terjadi dalam boiler.
- ❖ Proses 3 – 4 :  
Uap melakukan kerja sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Langkah ini adalah langkah ekspansi isentropis, dan terjadi didalam turbine.

❖ Proses 4 – 1 :

Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah isobar isothermis, dan terjadi didalam kondensor.

### 2.3.2 Perhitungan Kerja dan Perpindahan Kalor

Untuk mengevaluasi siklus *Rankine* seperti yang ditunjukkan gambar 2.6 (a) di atas, perpindahan kalor yang terjadi antara komponen pembangkit dengan sekelilingnya diabaikan untuk memudahkan analisis. Perubahan energi kinetic dan potensial juga diabaikan. Setiap komponen dianggap beroperasi pada kondisi tunak. Dengan menggunakan prinsip kekekalan massa dan energi, kita dapat mengembangkan persamaan untuk perpindahan energi dari titik – titik kondisi seperti yang telah ditunjukkan dalam gambar 2.6 (b).

Dalam kasus ini *boiler* pada kondisi 3, yang berada pada temperatur dan tekanan yang sudah dinaikan, berekspansi melalui *turbine* untuk menghasilkan kerja dan kemudian dibuang ke kondensor pada kondisi 4 dengan tekanan yang relative rendah. Dengan mengabaikan perpindahan kalor dengan sekelilingnya, kesetimbangan laju energi

$$0 = \cancel{\dot{Q}_{cv}} - \dot{W}_t + \dot{m} \left[ h_3 - h_4 + \frac{\cancel{V_3^2} - \cancel{V_4^2}}{2} + \cancel{g(z_3 - z_4)} \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Atau } \frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} = h_3 - h_4 \dots\dots\dots (2.3)$$

❖ **Kondenser**

Dalam kondenser terjadi perpindahan kalor dari uap ke air pendingin yang mengalir dalam aliran yang terpisah. Uap akan terkondensasi dan temperatur air pendingin akan meningkat. Pada kondisi tunak, kesetimbangan laju *massa* dan energi untuk

volume atur yang melingkupi bagian kondensasi dari penukar kalor adalah

$$\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} = h_4 - h_1 \dots\dots\dots(2.4)$$

### ❖ Pompa

Kondensat cair yang meninggalkan kondensor di kondisi 1 di pompa dari kondensor ke dalam *boiler* yang bertekanan lebih tinggi. Dengan menggunakan *volume* atur di sekitar pompa dan mengasumsikan tidak ada perpindahan kalor dengan sekitarnya, kesetimbangan laju massa dan energi adalah

$$\frac{\dot{W}_p}{\dot{m}} = h_2 - h_1 \dots\dots\dots(2.5)$$

### ❖ Boiler

*Fluida* kerja menyelesaikan siklus ketika cairan yang meninggalkan pompa pada kondisi 2 dipanaskan sampai jenuh dan diuapkan di dalam *boiler*. Dengan menggunakan *volume* atur yang melingkupi tabung *boiler* dan drum yang mengalirkan air pengisian dari kondisi 2 ke kondisi 3, kesetimbangan laju *massa* dan energi menghasilkan

$$0 = \dot{Q}_{CV} - \cancel{\dot{W}_t} + \dot{m} \left[ h_3 - h_2 + \frac{\cancel{V_3^1} \cancel{V_2^2}}{2} + \cancel{g(z_3 - z_2)} \right] \dots\dots\dots(2.6)$$

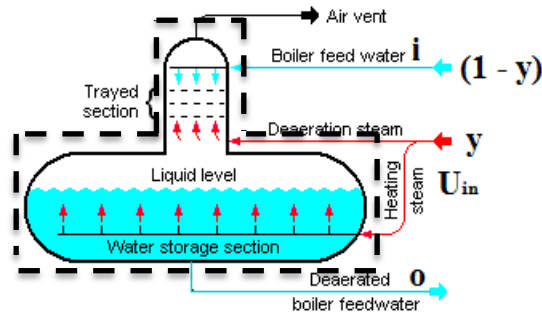
$$\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = h_3 - h_2 \dots\dots\dots(2.7)$$

### ❖ Efisiensi Termal

Efisiensi termal mengukur seberapa banyak energi yang masuk ke dalam *fluida* kerja melalui *boiler* yang dikonversi menjadi keluaran kerja *netto*. Efisiensi termal dari siklus diatas adalah

$$\eta = \frac{\dot{W}_t/\dot{m} - \dot{W}_p/\dot{m}}{\dot{Q}_{in}/\dot{m}} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)} \dots\dots\dots(2.8)$$

### 2.3.3 Analisa *Open Feed Water Heater*



**Gambar 2.7** *Open Feed Water Heater*

Pada *Heat Exchanger* jenis ini aliran yang berbeda temperatur akan bercampur secara langsung tanpa adanya penyekat. Fraksi  $y$  dapat dihitung dengan menerapkan prinsip-prinsip konservasi massa dan konservasi energi pada volume air di sekeliling pemanas air-pengisian. Jika tidak terjadi perpindahan kalor antara pemanas air-pengisian dan lingkungan sekitarnya serta efek energi kinetik dan potensial dapat diabaikan, kesetimbangan laju massa dan energi pada kondisi *steady* akan menghasilkan

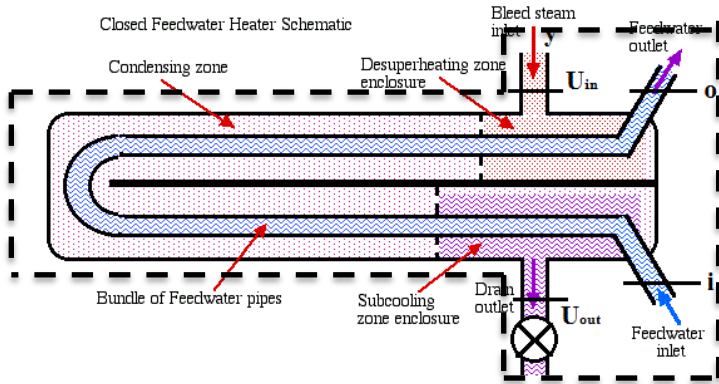
$$0 = y h_{uin} + (1 - y) h_i - h_o \dots\dots\dots(2.9)$$

$$0 = y m_{uin} + (1 - y) m_i - m_o \dots\dots\dots(2.10)$$

### 2.3.4 Analisa *Closed Feed Water Heater*

*Closed feedwater heaters* merupakan *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Uap yang dicerat dari *turbine* akan dikondensasikan pada sisi *shell* sementara *feedwater* (air

pengumpanan) akan masuk melalui sisi *tube* dan menyerap panas dari uap tadi sehingga akan meningkatkan temperaturnya.



**Gambar 2.8** *Closed Feed Water Heater*

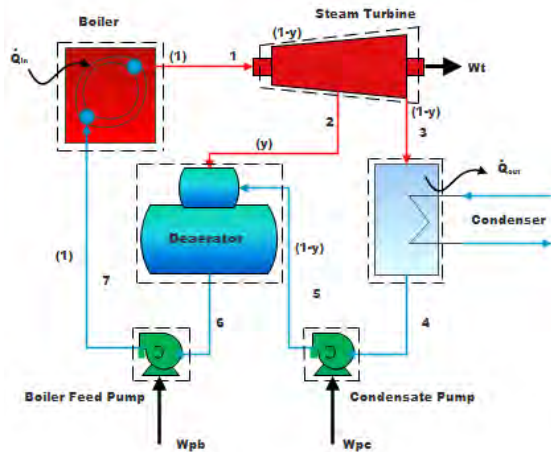
Fraksi dari aliran total yang diekstraksi  $y$  dapat dihitung dengan menerapkan prinsip-prinsip konservasi massa dan konservasi energi pada volume atur di sekeliling pemanas tertutup. Dengan mengasumsikan tidak terjadi perpindahan kalor antara pemanas air pengisian dan lingkungan sekelilingnya dan mengabaikan efek energi kinetik dan potensial, kesetimbangan laju massa dan energi pada kondisi *steady state* dapat disederhanakan menjadi

$$0 = y(h_{u_{in}} - h_{u_{out}}) + (h_i - h_o) \dots\dots\dots(2.11)$$

Atau

$$y = \frac{h_o - h_i}{(h_{u_{in}} - h_{u_{out}})} \dots\dots\dots(2.12)$$

### 2.3.5 Perhitungan Fraksi Massa



**Gambar 2.9** Siklus Regeneratif

Perhitungan fraksi massa digunakan untuk mengetahui laju aliran yang melalui di setiap masing-masing komponen pembangkit. Fraksi massa biasa sering digunakan pada siklus generatif. Gambar 2.9 langkah awal yang penting dalam menganalisis siklus uap regeneratif ada evaluasi terhadap laju aliran massa yang melalui setiap komponen. Dengan menggunakan satu volume atur yang melingkupi kedua tingkat *turbine*, kesetimbangan laju massa pada kondisi tunak adalah

$$\dot{m}_2 + \dot{m}_3 = \dot{m}_1 \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana  $\dot{m}_1$  adalah laju massa yang masuk ke dalam *turbine* tingkat pertama pada kondisi 1,  $\dot{m}_2$  adalah laju massa yang diekstrak dan keluar pada kondisi 2, dan  $\dot{m}_3$  adalah laju massa yang keluar dari *turbine* tingkat kedua pada kondisi 3, jika dibagi dengan  $\dot{m}_1$ , maka akan diperoleh nilai berdasarkan unit massa yang melewati *turbine* tingkat pertama.

$$\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1} + \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = 1 \dots\dots\dots(2.14)$$

Jika fraksi dari aliran total yang diekstraksi pada kondisi 2 diwakili oleh *variabel*  $y$  ( $y=\dot{m}_2/\dot{m}_1$ ), fraksi dari aliran total yang melewati *turbine* tingkat kedua adalah

$$\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = 1 - y \dots\dots\dots(2.15)$$

### 2.3.6 Perhitungan Effisiensi Siklus

Effisiensi siklus *Rankinee* mengukur seberapa banyak energi yang masuk ke dalam *fluida* kerja melalui *boiler* yang dikonversi menjadi keluaran kerja *netto*. Effisiensi siklus *Rankinee* dijelaskan dalam bentuk rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{\dot{W}_t/\dot{m} - \dot{W}_p/\dot{m}}{\dot{Q}_{in}/\dot{m}} \dots\dots\dots(2.16)$$

### 2.3.7 Perhitungan Laju Kalor (*Heat Rate*)

Laju kalor atau *heat rate* adalah jumlah energi yang ditambahkan melalui perpindahan kalor ke dalam siklus, biasanya dalam satuan BTU, untuk menghasilkan satu unit keluaran kerja netto, yang biasanya dala satuan kW-h. Oleh karena itu, laju kalor berbanding terbalik dengan efisiensi thermal, memiliki satuan Btu/kW-h.

$$Heat\ rate = \frac{Total\ fuel\ heat\ input\ (Kcal)}{Electrical\ generation\ (kW-h)} \dots\dots\dots(2.17)$$

## 2.4 Analisa ASME PTC 6

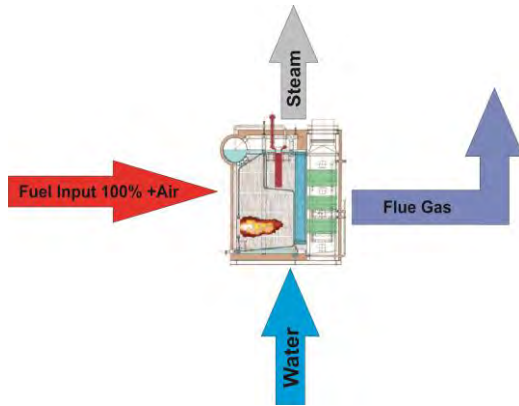
Untuk melengkapi prinsip dari termodinamika teknik I dan II, analisa terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Uap juga

berdasarkan *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) PTC 6. ASME PTC 6 berfokus pada perhitungan efisiensi pada *boiler*. Ada dua metode yang dapat digunakan untuk menghitung efisiensi *boiler*, yaitu dengan metode langsung (*Direct Method*) dan metode tidak langsung (*Indirect Method*). Perhitungan efisiensi pada *boiler* dapat mencerminkan efisiensi dari pembangkit secara keseluruhan, karena semakin baik efisiensi dari *boiler* maka bahan bakar yang dikonsumsi semakin sedikit sedangkan *steam* yang dihasilkan masih memiliki kualitas yang handal.

#### **2.4.1 Metode Perhitungan Langsung (*Direct Method*)**

Metode perhitungan langsung (*Direct Method*) adalah perhitungan efisiensi dengan membandingkan nilai *output* dengan nilai *input*. Energi yang didapat dari *fluida* kerja (air dan *steam*) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar *boiler*. Keuntungan metode langsung adalah lebih cepat mengevaluasi efisiensi *boiler* karena memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan dan memerlukan sedikit instrumen untuk pemantauan. Hal ini sangat diperlukan apabila sering dilakukan inspeksi yang dilaksanakan dalam jangka waktu yang pendek. Kerugian metode langsung adalah tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistem yang lebih rendah dan tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh pada berbagai tingkat efisiensi.





**Gambar 2.10** Skema Effisiensi *Direct Method Boiler*

Sesuai dengan gambar 2.10 skema efisiensi *boiler* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Boiler Efficiency } (\eta) = \frac{\text{heat output}}{\text{heat input}} \cdot 100\%$$

$$\text{Boiler Efficiency } (\eta) = \frac{\dot{m} \cdot (h_{\text{steam}} - h_{\text{water}})}{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot \text{LHV}} \cdot 100\% \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana:

$\dot{m}$	=	laju uap yang dihasilkan (kg/jam)
$\dot{m}_{\text{fuel}}$	=	laju bahan bakar yang diumpankan (kg/jam)
$\text{HHV}$	=	nilai kalor atas bahan bakar (kcal/kg)
$h_{\text{steam output}}$	=	Entalphi uap (kcal/kg)
$h_{\text{water input}}$	=	Entalphi air pengisi (kcal/kg).

Metode perhitungan tidak langsung adalah metode perhitungan efisiensi dengan mengukur semua kerugian yang terjadi pada *boiler*. Kelebihan dari metode ini adalah kesalahan dalam pengukuran tidak membuat perubahan signifikan dalam

effisiensi, dapat diketahui juga neraca bahan dan energi yang lengkap untuk setiap aliran sehingga dapat memudahkan dalam meng-identifikasi *alternative* untuk meningkatkan efisiensi *boiler*. Sedangkan kerugian metode tidak langsung adalah diperlukan waktu yang lebih lama dan diperlukan fasilitas laboratorium untuk analisis.

## **2.5 Penelitian Terdahulu**

Pada sub-bab ini, akan dibahas penelitian – penelitian terdahulu yang akan dijadikan dasar pertimbangan dalam analisa performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) UBP Perak:

### **2.5.1 James A. Fay, S. Golomb, Savvakis C. Zachariades (1986)**

Dalam penelitian yang berjudul “*Feasibility and Cost of Converting Oil and CoalFired Utility Boilers to Intermittent Use of Natural Gas*”, penelitian dilakukan dengan pengoperasian tiga macam bahan bakar *boiler*, yaitu *Natural Gas*, *Oil*, dan *Coal*.

**Tabel 2.1** *Characteristics of Natural Gas, Oil, and Coal*

	<u>Natural Gas</u>	<u>Oil</u>	<u>Coal</u>
Relative power density (RPD)	1.6	1.0	0.73
Heating value ( $10^3$ BTU/lb)	22.5	18.5	13
Stoich. air/fuel ratio by weight	16.4	13.8	9.9
Adiabatic temp. of flue gases @ 20% excess air ( $^{\circ}\text{F}$ )	3380 <sup>(2)</sup>	3600 <sup>(3)</sup>	3513 <sup>(3)</sup>
Hydrogen/Carbon by weight	1:3	1:9	1:20
by atom	4	1.6	0.8
SO <sub>2</sub> emission (lbs/ $10^6$ BTU)	0	0.5 - 3	1 - 6
CO <sub>2</sub> :H <sub>2</sub> O molar ratio	0.5:1	1.2:1	2.5:1
Burning time	fast	intermediate	slow

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa konsumsi udara *stoichio air ratio* untuk bahan bakar *natural gas* memiliki angka paling besar, hal ini menyebabkan udara yang disuplai oleh *FD fan* lebih banyak ke dalam *furnace* di dalam *boiler*. Sedangkan *FD fan* memiliki kapasitas tertentu dalam penyuplaian udara untuk memenuhi keadaan stokio metri pembakaran yang sempurna.

*Natural gas* tidak memiliki emisi SO<sub>2</sub>, kandungan sulfur dalam suatu bahan bakar sangat diperhitungkan dalam penggunaannya, semakin tinggi kandungan sulfur maka emisi

polutan yang ditimbulkan dari hasil pembakaran juga akan besar nilainya. Semakin banyak emisi polutan yang dihasilkan dari pembakaran suatu bahan bakar di *boiler*, maka semakin membahayakan lingkungan sekitar.

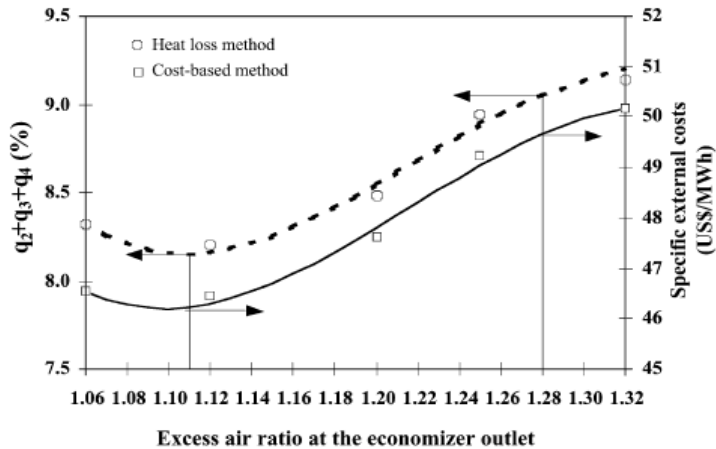
*Natural gas* memiliki ukuran dimensi atom yang paling kecil dibanding dengan ukuran dimensi atom bahan bakar lainnya. Hal ini menyebabkan terbakarnya bahan bakar *natural gas* paling cepat diantara bahan bakar lainnya. Semakin cepat terbakarnya suatu bahan bakar, maka panas yang dihasilkan untuk suatu siklus pembakaran akan lebih tinggi.

### 2.5.2 Kuprianov V.I. (2004)

Pada penelitian Kuprianov yang berjudul “*Application of a Cost – Based Method of Excess Air Optimization for the Improvement of The Thermal Efficiency and Environmental Performance of Steam Boiler*”, untuk mengetahui nilai *excess air* yang optimal ada dua cara, yaitu dengan metode *Heat Loss* dan metode *cost based* dengan perhitungan nilai eksternal.

Penelitian dilakukan pada tiga macam pembakaran dengan bahan bakar dan beban yang berbeda yaitu pembakaran bahan bakar batu bara dengan beban 150 MW, pembakaran bahan bakar oil/ gas pada *boiler* dengan *mass flowrate steam* 90 T/h, pembakaran bahan bakar minyak pada beban 310 MW.

Dari ketiga macam pembakaran diketahui bahwa berkurangnya udara yang berlebih berakibat nilai  $q_2$  (*heat loss with the waste flue gas*) menjadi lebih rendah sehingga efisiensi termal meningkat dan menghemat bahan bakar. Tetapi terlalu kurangnya pasokan udara bakar juga mengakibatkan tidak terbakarnya sebagian karbon sehingga pembakaran menjadi tak sempurna dan menghasilkan jelaga.



**Gambar 2.11** Total excess-air-dependent heat losses and specific “external” costs for the 150 MW boiler firing Thai lignite.

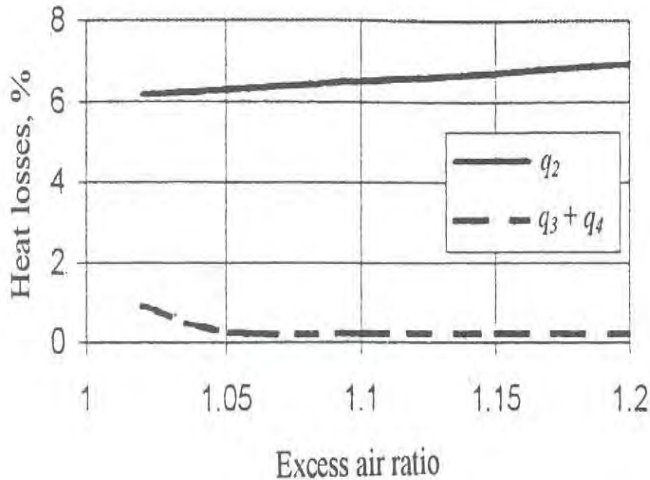
Gambar 2.11 di atas menjelaskan semakin banyak *excess air* yang diberikan maka makin besar pula *heat loss* dan biaya eksternal yang terjadi. Dampak pada *heat loss method* lebih besar daripada analisa pada dampak biaya eksternal karena emisi polutan.

### 2.5.3 Kouprianov V.I., Chullapong Chullabodhi, and Watcharee .K.(1999)

Penelitian oleh Kouprianov, dkk (1999) mengenai “*Cost based optimization of excess air for fuel oil/ gas fired steam boilers*”, dilakukan pada pembakaran bahan bakar minyak dan gas alam dengan beban *boiler* 310 MW.

Salah satu hasil yang didapat dari penelitian ini yaitu pengoptimalan *ratio excess air* berpengaruh pada *heat loss with waste gas* ( $q_2$ ). Semakin besar *ratio excess air* maka  $q_2$  makin besar pula. Sedangkan *heat loss* karena pembakaran yang tak

sempurna dan karbon yang tidak terbakar ( $q_3 + q_4$ ) berbanding terbalik dengan nilai *ratio excess air* .

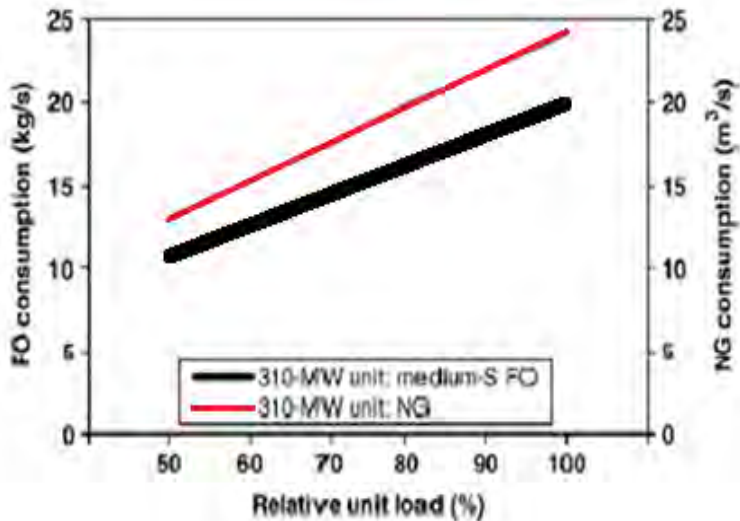


**Gambar 2.12** *Effect of excess air ratio on boiler heat losses*

Besarnya rasio *excess air* yang optimal harus lebih besar dari rasio kritis *excess air* yang diasumsikan,  $\alpha_{cr} = 1.05$ . Apabila *heat losses* ( $q_3 + q_4$ ) bertambah menyebabkan rendahnya *ratio excess air* di *furnace boiler* ( $\alpha < \alpha_{cr}$ ).

#### 2.5.4 W. Kaewboonsong, dkk (2006)

Pada penelitian **Kaewboonsong** yang berjudul “*Minimizing fuel and environmental costs for a variable-load power plant (co-)firing fuel oil and natural gas Modeling of gaseous emissions from boiler units*” menjelaskan tentang keuntungan dalam penggunaan bahan bakar *natural gas* dan *oil* bila ditinjau dari emisi gas buang yang dihasilkan.

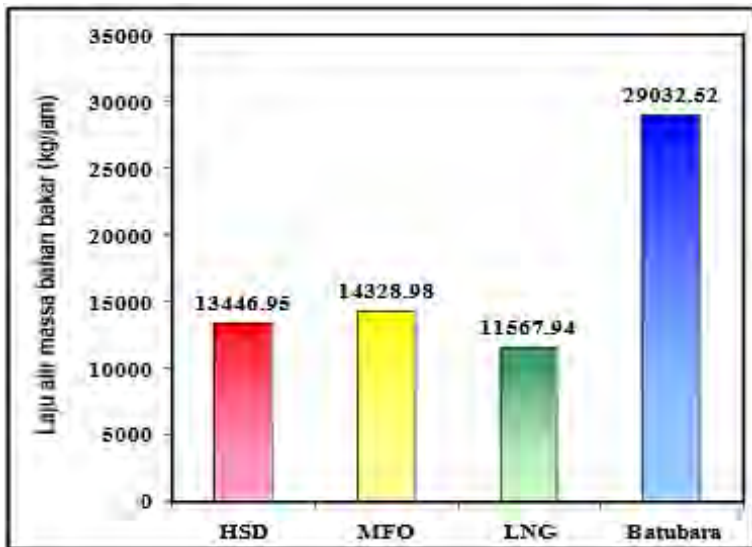


**Gambar 2.13** Konsumsi bahan bakar *FO* dan *Natural Gas* pada beban 310 MW

Gambar 2.13 di atas menunjukkan jumlah bahan bakar *FO* dan *Natural Gas* yang dibutuhkan untuk menaikan beban sebesar 310 MW. Semakin tinggi beban yang dihasilkan maka konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan juga akan semakin besar. Pada beban 310 MW membutuhkan konsumsi bahan bakar *FO* yang lebih banyak daripada bahan bakar *natural gas* sehingga bahan bakar *natural gas* lebih hemat dikarenakan nilai kalor dari bahan bakar gas lebih tinggi dibanding nilai kalor bahan bakar minyak.

### 2.5.5 Syukran., dkk, (2007)

Pada penelitiannya yang berjudul “Estimasi Penghematan Biaya Operasi PLTU dengan Cara Penggantian Bahan Bakar”, Syukran menjelaskan bahwa, pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan daya yang dihasilkan sebesar 51465 KW, dengan menggunakan bahan bakar yang berbeda yaitu HSD, MFO, LNG, dan juga Batu Bara, didapatkan grafik seperti berikut:



**Gambar 2.14** Grafik laju aliran massa 4 jenis bahan bakar yang digunakan untuk daya yang sama

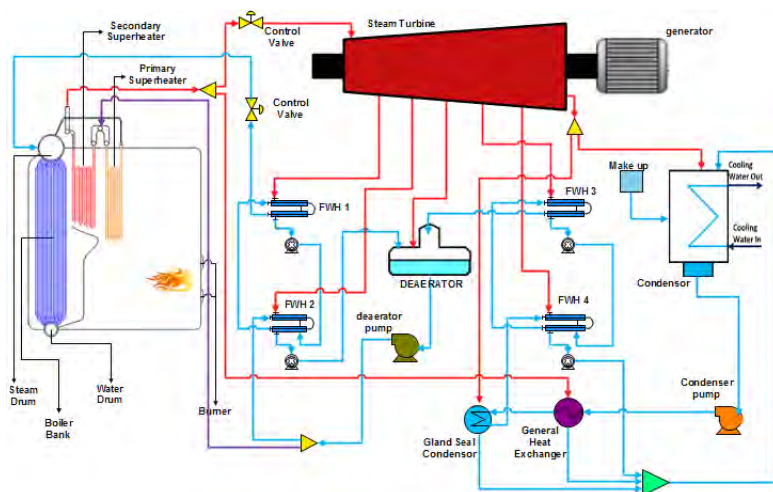
Laju aliran massa yang paling kecil ditunjukkan oleh bahan bakar gas, hal ini disebabkan *Low Heating Value* bahan bakar gas yang paling tinggi dibanding bahan bakar Batu Bara, MFO, dan juga HSD.



*( Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## METODE PENELITIAN

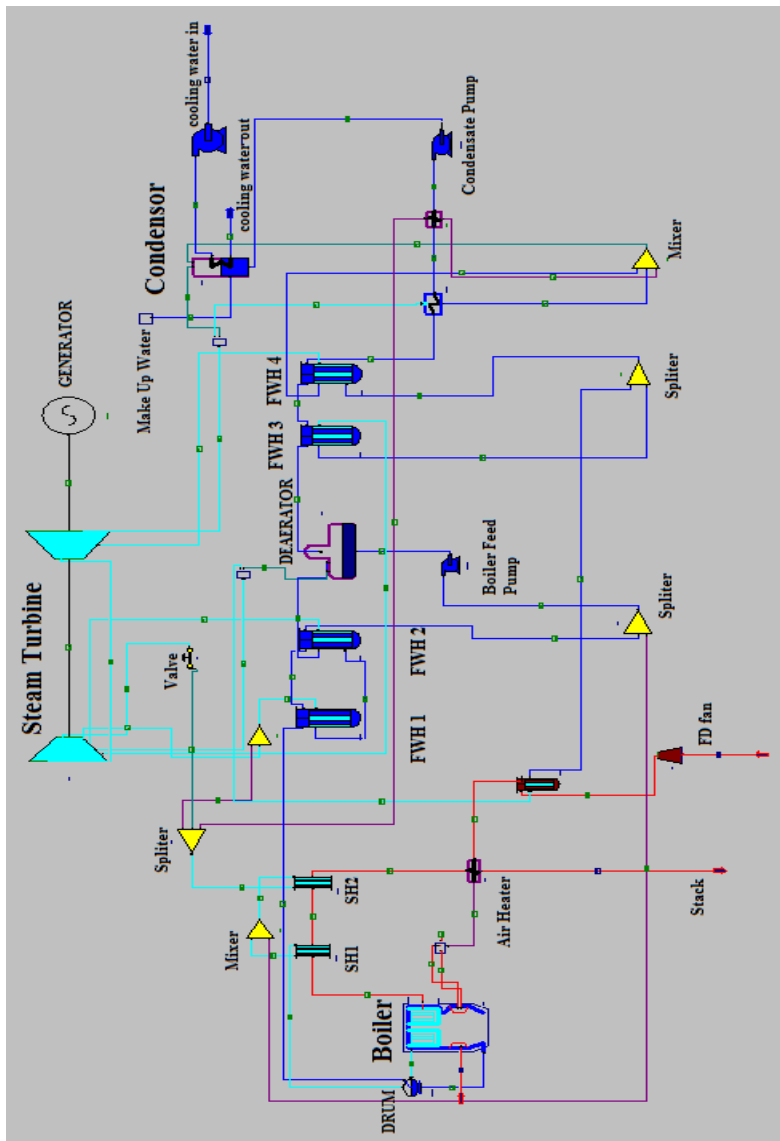
Pemodelan pada tugas akhir ini menggunakan *software GateCycle*. *GateCycle* merupakan *software* yang dapat memprediksi *design* pembangkit yang dimodelkan. *Output* yang diberikan oleh *software* ini berupa *power*, *heat rate* dan *effisiensi* pembangkit. Pemodelan tugas akhir ini berdasarkan P&ID PLTU UBP Perak pada kondisi *existing*. Hal ini dilakukan agar pemodelan dapat disimulasikan sama dengan keadaan yang ada di lapangan.



**Gambar 3.1** Diagram aliran massa model PLTU UBP Perak

Pada pemodelan di atas, *properties*, dimensi, dan *flowrate* yang diberikan berasal dari *balance of plant* yang terdapat pada PLTU UBP Perak. Dapat dilihat pada pemodelan tersebut, pada *boiler* di pembangkit ini terdiri dari 2 *superheater*, 1 *economizer*.

Kemudian pembangkit ini menggunakan 1 turbin uap dengan 5 ekstraksi. Pembangkit ini juga dilengkapi dengan 4 *unit closed feedwater heater* dan 1 *unit deaerator*. Skema diagram alir tersebut digunakan sebagai dasar untuk membangun model pada *GateCycle*. Berikut merupakan gambar pemodelan PLTU UBP Perak pada *GateCycle*.

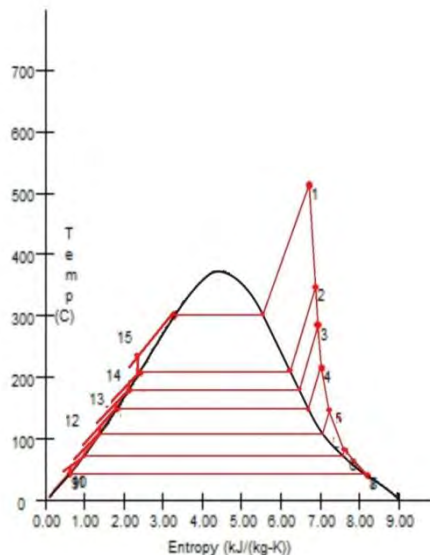


**Gambar 3.2** Pemodelan PLTU UBP Perak

Untuk memodelkan *GateCycle* diperlukan *input* data yang digunakan sebagai parameter pada setiap komponen yang ada agar dapat mewakili komponen yang ada di lapangan. Pemodelan ini didasarkan pada P&ID yang terdapat pada lampiran 1.

### 3.2 Analisa Termodinamika Pembangkit

Bila ditinjau pada gambar 3.1, unit PLTU UBP Perak menggunakan 1 *steam turbine* dengan 5 ekstraksi.



**Gambar 3.3** T – s Diagram model PLTU UBP Perak

Bila ditinjau pada T-S diagram, dapat dilihat bahwa pada tiap komponen yang ada di pembangkit tersebut memiliki fase yang tidak ideal. Hal ini menggambarkan proses yang terjadi pada kondisi real terdapat losses atau rugi-rugi yang terjadi pada tiap komponen. Sehingga dapat dipastikan bahwa data yang ada di

lapangan sama dengan data yang di *input* pada permodelan yang dibangun untuk mensimulasikan variasi yang ditentukan.

### 3.3 Analisa Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Dalam menganalisa performa pembangkit, dapat digunakan metode analisa secara termodinamika. Selain analisa termodinamika, dapat digunakan metode lain dalam menganalisa performa pembangkit. Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisa performa pembangkit pada tugas akhir ini adalah ASME PTC 6. Berikut merupakan perumusan dari metode ASME PTC 6:

#### ➤ *Input-Output Methode*

$$\bullet \quad \text{Power Gross} = \dot{m}_1(h_1 - h_2) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)(h_2 - h_3) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3)(h_3 - h_4) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4)(h_4 - h_5) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5)(h_5 - h_6) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5 - \dot{m}_6)(h_6 - h_7) \dots (3.1)$$

Dimana:

$\dot{m}$  = Laju aliran massa *steam* (kg/h)  
suatu kondisi

$h$  = entalpi (kJ/kg) suatu kondisi

$$\bullet \quad \text{Plant Heat Rate} = \frac{(\dot{m}_{fuel} \cdot HHV_{fuel})}{\text{Power Gross}} \dots (3.2)$$

Dimana:

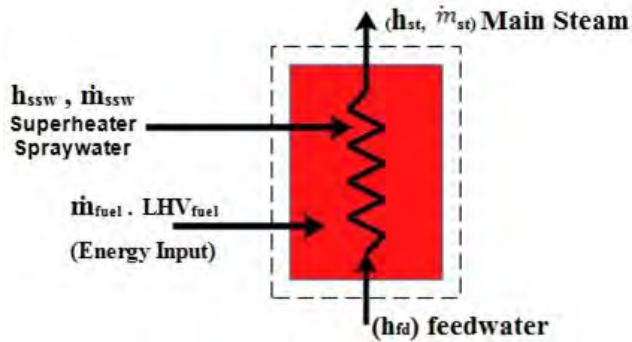
$\dot{m}_{fuel}$  = aliran bahan bakar yang  
digunakan (kg/h)

$\text{Power Gross}$  = Daya Kotor yang dihasilkan  
oleh pembangkit (kW)

- $$\text{Nett Plant Heat Rate} = \frac{(\dot{m}_{fuel} \cdot HHV_{fuel})}{\text{Power Gross} - \text{Stasion Service Power}} \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana:

*Stasion Service Power* = Daya yang digunakan peralatan di pembangkit (kW)

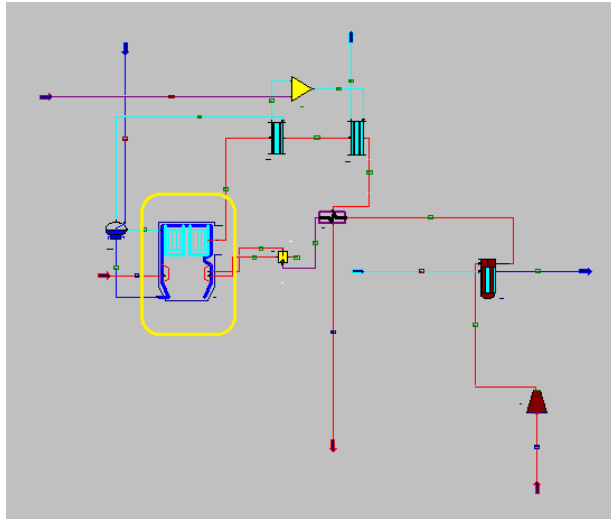


**Gambar 3.4** *Heat Balance Boiler*

- $$\text{Boiler efficiency}(\%) = \frac{\text{heat output}}{\text{heat input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{(\dot{m}_{steam} \cdot h_{steam} - (\dot{m}_{fwh} \cdot h_{fwh} + \dot{m}_{spray} \cdot h_{spray}))}{\dot{m}_{bb} \cdot LHV_{bb}} \times 100\%$$

### 3.4 Variasi yang Dilakukan



**Gambar 3.5** Boiler yang akan divariasikan bahan bakar dan beban pembangkitnya

Pada tugas akhir ini variasi hanya dilakukan pada penggantian bahan bakar *boiler* dan beban seperti ditunjukkan pada gambar 3.5. Bahan bakar *boiler* dalam keadaan existing adalah *MFO* dengan *Low Heating Value* sebesar 40685 kJ/kg dengan beban 50%, 75%, dan 100%. Selanjutnya *MFO* diganti dengan Bahan Bakar Gas dengan *Low Heating Value* 47141 kJ/kg dengan beban 50%, 75%, 100%. Dari setiap variasi bahan bakar dan variasi beban yang dilakukan, akan didapatkan beberapa data penting antara lain *power*, *plant heat rate*,  $\dot{m}_{steam}$ ,  $\dot{m}_{bahan\ bakar}$ ,  $\dot{m}_{excess\ air}$ , *effisiensi boiler*, *Tin Air Heater*, *Tout Air Heater*. Data yang dihasilkan oleh *GateCycle* akan divalidasi dengan hasil perhitungan manual yang menggunakan metode termodinamika. Sehingga keseluruhan variasi dapat dilihat pada tabel 3.1.



**Tabel 3.1** Variasi Bahan Bakar dan Beban pada *Boiler* PLTU UBP Perak

Pembangkit									Gross Power Output	Net Power Output	Effisiensi Boiler	Plant Heat Rate	Net Plant Heat Rate	Effisiensi Pembangkit
Kondisi	Jenis Bahan Bakar	Beban %	Bahan Bakar kg/sec	Main Steam kg/sec	Excess Air kg/sec	Flue Gas °C	T in Air Heater °C	T out Air Heater °C	MW	MW	%	kJ/MW.h	kJ/MW.h	%
I	MFO	50												
II	MFO	75												
III	MFO	100												
IV	CNG	50												
V	CNG	75												
VI	CNG	100												

### 3.5 Preliminary Result

Hasil awal yang sudah didapatkan dari simulasi *GateCycle* pada tugas akhir ini yaitu perhitungan termodinamika *Power Gross* yang dilakukan pada variasi bahan bakar *Marine Fuel Oil* dengan beban 100%, seperti di bawah ini:

$$Power\ Gross = \dot{m}_1(h_1 - h_2) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)(h_2 - h_3) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3)(h_3 - h_4) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4)(h_4 - h_5) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5)(h_5 - h_6) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5 - \dot{m}_6)(h_6 - h_7)$$

$$Power\ Gross = 186912(3414.07 - 3118.73) + (186912 - 9900)(3118.73 - 3004.29) + (186912 - 9900 - 11844)(3004.29 - 2822.97) + (186912 - 9900 - 11844 - 15804)(2822.97 - 2630.57) + (186912 - 9900 - 11844 - 15804 - 9792)(2630.57 - 2428.64) + (186912 - 9900 - 11844 - 15804 - 9792 - 6516)(2428.64 - 2235.47)$$

$$Power\ Gross = 55202590.08 + 20257253.28 + 29948261 + 28737633.6 + 28183773.96 + 25702427.52 = 188031939.4\text{ kW/s} = 52231.1\text{ kW/hr}$$

*Power Gross* yang ditunjukkan oleh *software GateCycle* yaitu 52231.9 kW/hr

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data dan Model PLTU PT. Indonesia Power UBP Perak

Dalam melakukan perhitungan dan analisa performa menggunakan data dari PLTU PT. Indonesia Power UBP. Perak sebagai acuannya. Data operasi PLTU 50 MW tersebut adalah sebagai berikut:

1. Spesifikasi *Design*

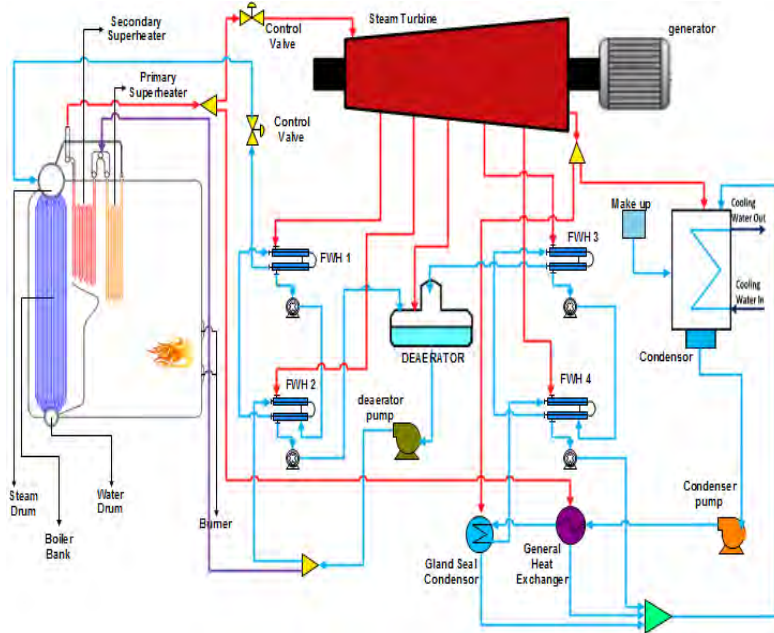
Kapasitas *Output* : 50 MW

Bahan bakar : *Marine Fuel Oil*

**Tabel 4.1** Data Analisa Kandungan Bahan Bakar

Ultimate Analysis	<i>MFO</i>	BBG	Unit
Carbon	80,12	75,07	% wt
Hidrogen	8,02	22,89	% wt
Nitrogen	8,29	1,37	% wt
Sulfur	2,59	0	% wt
Moisture	0	0	% wt
Oksigen	1,4	0,65	% wt
Proximate Analysis	<i>MFO</i>	BBG	Unit
LHV	39.466	47.141	KJ/kg
Massa Jenis	860	0,717	Kg/m <sup>3</sup>
Laju bahan bakar	13.371,12	11.089,8	Kg/hr

## 4.2 Membangun Permodelan Awal Berdasarkan P&ID Pembangkit Listrik Tenaga Uap



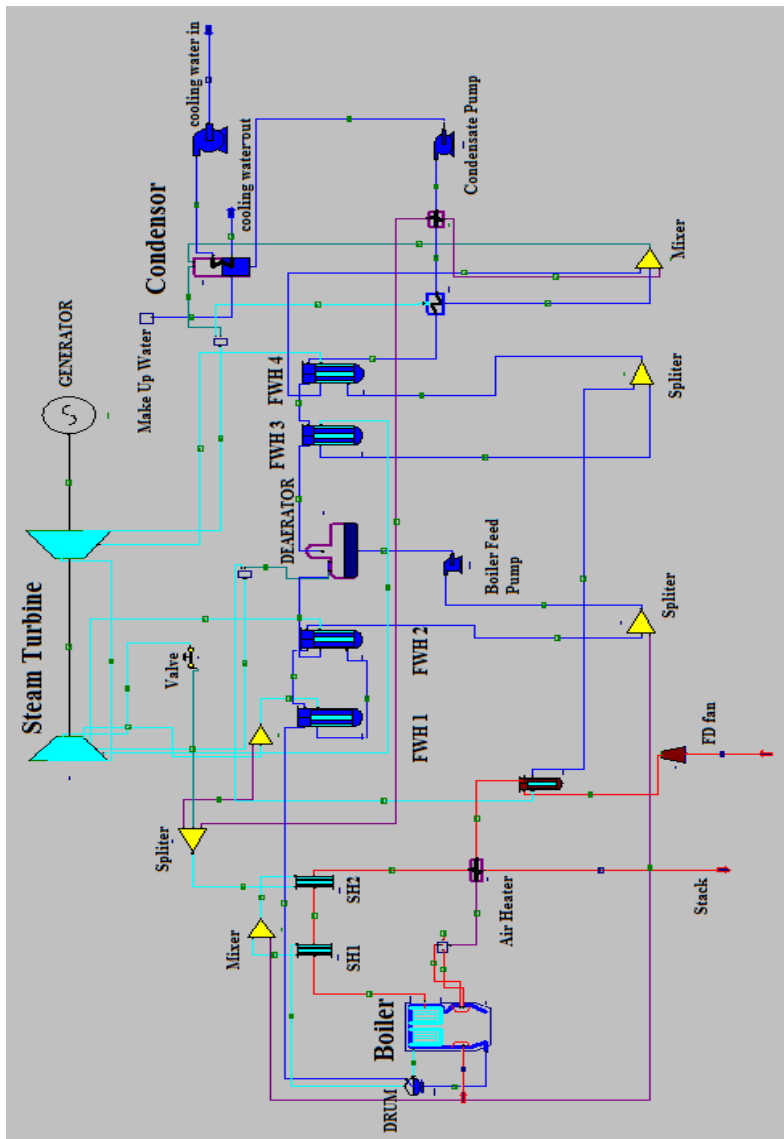
**Gambar 4.1** Skema Aliran Steam Berdasarkan P&ID Pembangkit PT. Indonesia Power UBP. Perak Surabaya

Sebelum melakukan analisa terhadap performa pembangkit, permodelan harus dilakukan di dalam *software GateCycle* berdasarkan P&ID yang sudah ada. Pembuatan model pada *software GateCycle* berdasarkan skema pada gambar 4.1 di atas. Pembangkit PT Indonesia Power UBP. Perak Surabaya terdiri dari beberapa komponen yang menghasilkan tenaga sebesar 50 MW.

Pada *boiler*, komponen utama pendukungnya yaitu terdiri dari dua buah *superheater*, kemudian terdapat juga *boilerbank*

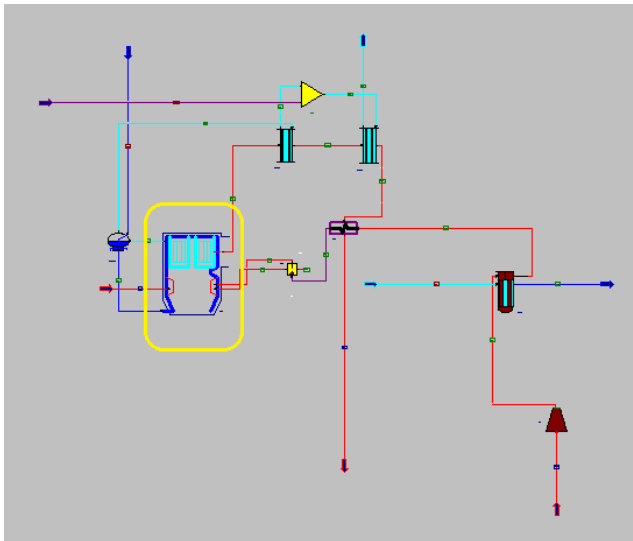


setiap komponen yang telah disebutkan ke dalam *software GateCycle*. Selanjutnya setelah semua komponen dimasukkan, setiap komponen harus dicantumkan *variable properties* / kondisi yang menentukan batasan – batasan sesuai dengan kondisi eksisting dari PLTU itu sendiri. Selanjutnya, dari setiap komponen tersebut disambungkan sesuai dengan urutan berdasarkan ketentuan pada skema *heat and mass balance* pada gambar 4.1.



**Gambar 4.3** Hasil Permodelan Pembangkit PT. Indonesia Power UBP.  
Perak

Gambar 4.3 merupakan hasil dari permodelan sistem pembangkit pada *software GateCycle*. Setelah proses permodelan selesai, sistem pembangkit tersebut harus dijalankan untuk memastikan bahwa kondisi model pembangkit yang ada sesuai dengan kondisi nyata. Hasil yang diperoleh dapat dinyatakan valid apabila setelah dijalankan iterasi tercapai kondisi konvergen.



**Gambar 4.4** Kondisi Awal Pembangkit dengan *Marine Fuel Oil* sebagai Bahan Bakar *Boiler*

Berdasarkan gambar 4.4, permodelan awal dengan data dari kondisi eksisting menunjukkan bahwa kondisi pembangkit beroperasi dengan *Marine Fuel Oil* sebagai bahan bakar *Boiler* Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Indonesia Power Perak, Surabaya.

### 4.3 Contoh Perhitungan Menggunakan Analisa Termodinamika

Setelah proses permodelan pada *software GateCycle* telah dilakukan, hal yang dilakukan selanjutnya adalah menganalisa sistem pembangkit, yang merupakan kondisi eksisting pembangkit dengan menggunakan analisa termodinamika serta hasil *running* dari *GateCycle*. Tabel 4.2 adalah tabel *properties* dengan kondisi eksisting dari pembangkit. Di dalam *software GateCycle* juga didapatkan data sebagai berikut:

- Jumlah Bahan Bakar = 13371.12 (kg/hr)
- Daya Netto = 50.00 (MW)
- Daya Gross = 52324.3 (kW)
- Heat Rate = 10553.6 (kJ/kW.hr)
- Effisiensi Pembangkit = 34.11%

**Tabel 4.2** Data Properties Kondisi Eksisting

	$\dot{m}$ (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	h kJ/kg
Main Steam	54.68	510	8727.9	3414.07
FWH1	2.82	346.29	2259.45	3122.57
FWH2	3.29	282.53	1294.5	3004.29
Deaerator	4.15	184.41	470.72	2822.97
FWH3	2.72	107.66	132.39	2630.57
FWH4	1.81	75.5	39.38	2483.85



Keluar Turbin	39.12	41.49	7.99	2302.88
SAH	0.69	184.41	470.72	2822.97
Spray Super Heater	0.89	149.11	8727.9	633.05
Fluida Masuk Boiler	53.79	211.09	8727.9	904.64

Dari data pada tabel 4.2 dapat dilakukan analisa termodinamika dengan tujuan membandingkan dengan data *software GateCycle*. Di bawah ini adalah hasil perhitungan *Gross Power Output* secara termodinamika:

- *Power Gross = Power Steam Turbine*
- $Power\ Steam\ Turbine = \dot{m}_1(h_1 - h_2) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2)(h_2 - h_3) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3)(h_3 - h_4) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4)(h_4 - h_5) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5)(h_5 - h_6) + (\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5 - \dot{m}_6)(h_6 - h_7)$
- $Power\ Steam\ Turbine = 196344 (3414.07 - 3115.51) + (196344 - 9900) (3115.51 - 3004.29) + (196344 - 9900 - 11844) (3004.29 - 2822.97) + (196344 - 9900 - 11844 - 17424) (2822.97 - 2630.57) + (186912 - 9900 - 11844 - 17424 - 9792) (2630.57 - 2483.85) + (186912 - 9900 - 11844 - 17424 - 9792 - 6516) (2483.85 - 2302.88)$
- $Power\ Steam\ Turbine = 58620464.64 + 20736301.68 + 31658472 + 30240662.4 + 21624180.48 + 25492881.96$
- $Power\ Steam\ Turbine = 188372963.2\ kW/s = 52325.8\ kW/hr$

*Power Gross* yang ditunjukkan oleh *software GateCycle* yaitu 52324.3 kW/hr, hasil ini berbeda dengan hasil yang

didapatkan dengan perhitungan termodinamika yaitu 52325.8 kW/hr. Perbedaan dari keduanya adalah sebesar 1.5 kW/hr.

Setelah membandingkan hasil daya gross yang didapatkan dari *software GateCycle* dan perhitungan termodinamika, selanjutnya dilakukan perhitungan *heat rate*:

- $Heat\ Rate = \frac{\dot{m}_{\text{bahan bakar}} \cdot LHV_{\text{bahan bakar}}}{Nett\ Power}$
- $Heat\ Rate = \frac{\left(3.7142 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right) \left(\frac{3600\text{s}}{\text{h}}\right) \left(\frac{39466\text{ kJ}}{\text{kg}}\right)}{50000\text{ kW}}$
- $Heat\ Rate = 10554.1\text{ kJ/kW.hr}$

Dari hasil perhitungan termodinamika didapatkan *heat rate* sebesar 10554.1 kJ/kW.hr dan hasil yang ditunjukkan oleh *software GateCycle* adalah sebesar 10553.6 kJ/kW.hr. Terdapat perbedaan dari kedua hasil yang didapat sebesar 0.5 kJ/kW.hr.

Setelah melakukan perhitungan *heat rate* selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi pembangkit secara termodinamika.

- $efisiensi\ pembangkit = \frac{860,42}{heat\ rate} \times 100\%$
- $efisiensi\ pembangkit = \frac{860,42}{10553.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kW.h}} \times \frac{\text{kCal}}{4,184\text{ kJ}}} \times 100\%$
- $efisiensi\ pembangkit = 34.11\%$

Efisiensi pembangkit pada *software GateCycle* yaitu 34.11%. Tidak ada perbedaan dari hasil perhitungan dengan hasil *software GateCycle*.

Kemudian untuk memperoleh efisiensi boiler menggunakan persamaan standar dari metode ASME PTC 6, yaitu dengan menggunakan metode perhitungan langsung (*direct method*). Berdasarkan data dari tabel 4.2 efisiensi boiler dapat diperoleh nilai seperti dibawah ini:

Nilai  $\dot{m}_{mfo} \cdot LHV_{fuel} = 13371.12 \text{ kg/hr} \times 39466 \text{ kJ/kg} = 527704621.9 \text{ kJ/hr}$

$$\text{Effisiensi boiler} = \frac{[\dot{m}_{st} \cdot h_{st} - (\dot{m}_{fwh} \cdot h_{fwh} + \dot{m}_{spray} \cdot h_{spray})]}{(\dot{m}_{bb} \cdot LHV_{bb})}$$

$$\text{Effisiensi boiler} = \frac{[196848 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 3414.07 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - (193644 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 904.64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 3204 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 633.05 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})]}{527704621.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

Effisiensi boiler = 93.77 %

Dari hasil perhitungan diatas terdapat perbedaan dari hasil perhitungan secara termodinamika dan hasil dari gatecycle, perbedaan yang ada tidak begitu besar. Hal ini membuktikan bahwa software Gatecycle dapat digunakan untuk melakukan analisa selanjutnya.

#### 4.4 Analisa PLTU PT. Indonesia Power UBP. Perak Setelah Dilakukan Variasi Penggantian Bahan Bakar

Untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari penggantian bahan bakar pada boiler dari bahan bakar Marine Fuel Oil menjadi bahan bakar Bahan Bakar Gas, harus dilakukan beberapa variasi. Terdapat beberapa variasi yang dilakukan dalam penelitian ini. Kondisi pemvariasian ini dilakukan dengan menjaga *Nett Power Output* tetap sama, dengan sisi lain yaitu merubah jumlah pemasukan bahan bakar. Pemvariasian dilakukan dengan ketentuan seperti pada tabel 4.3

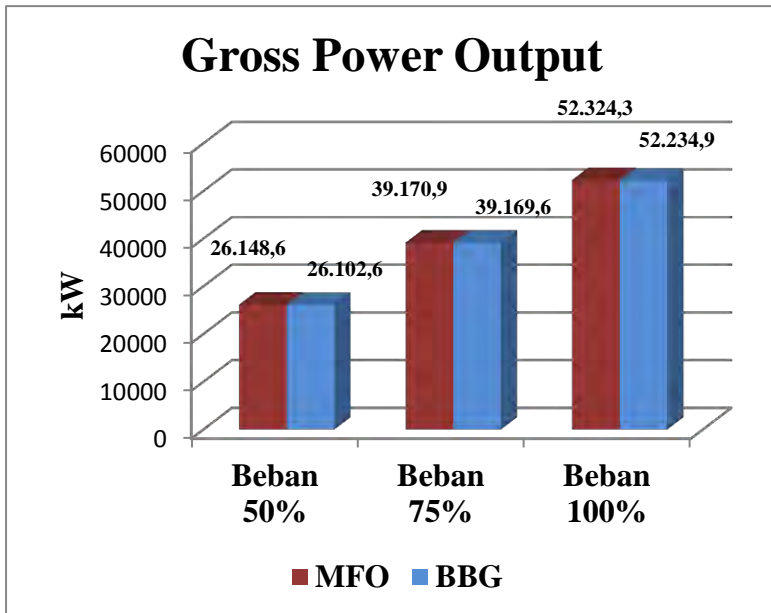
**Tabel 4.3** Variasi Bahan Bakar *Boiler* dan Pembebanan Pembangkit

	<b>Kondisi</b>
<b>Variasi 1</b>	Bahan bakar <i>MFO</i> pembebanan pembangkit 50%
<b>Variasi 2</b>	Bahan bakar <i>MFO</i> pembebanan pembangkit 75%
<b>Variasi 3</b>	Bahan bakar <i>MFO</i> pembebanan pembangkit 100%
<b>Variasi 4</b>	Bahan bakar <i>CNG</i> pembebanan pembangkit 50%
<b>Variasi 5</b>	Bahan bakar <i>CNG</i> pembebanan pembangkit 75%
<b>Variasi 6</b>	Bahan bakar <i>CNG</i> pembebanan pembangkit 100%

**Tabel 4.4** Properties Pembangkit Setelah Variasi

No.	Data	Unit	MFO (% Beban)			BBG (%Beban)		
			50	75	100	50	75	100
1	Massa Udara	kg/hour	106380	159120	212148	96444	144036	191916
2	Massa Bahan Bakar	kg/hour	6706.08	10029.6	13371.12	5572.08	8321.4	11088
3	HHV	KJ/kg	42210	42210	42210	52225	52225	52225
4	LHV	KJ/kg	39466	39466	39466	47141	47141	47141
5	Temperature Inlet	°C	454.06	458.36	454.55	400.28	404.38	400.15
6	Temperature Outlet	°C	166.91	178.3	184.92	150.05	161.37	167.93
7	Massa main steam	kg/hour	93312	143928	196848	93168	143820	196416
8	Enthalphy main steam	KJ/kg	3414.07	3414.07	3414.07	3414.07	3414.07	3414.07
9	Massa SAH	kg/hour	72	1116	2484	36	1008	2232
10	Enthalphy SAH inlet	KJ/kg	2708.8	2773.15	2822.97	2708.8	2773.15	2822.97
11	Enthalphy SAH outlet	KJ/kg	515.59	515.67	515.76	515.59	515.67	515.76
12	Massa feed water	kg/hour	90108	140616	193644	89964	140364	191268
13	Enthalphy feed water	KJ/kg	769.17	842.52	904.64	764.57	842.91	905.35
14	Temperature feed water	°C	179.42	197.2	211.09	179.51	197.29	211.24
15	Massa spray	kg/hour	3204	3204	3204	3204	3204	3204
16	Enthalphy spray	KJ/kg	533.5	593.68	633.05	533.5	593.68	633.05
17	Massa input	kg/hour	93312	143928	196848	93168	143820	196416
18	Blowdown	kg/hour	0	0	0	0	0	0
19	Massa Make Up Water	kg/hour	0.68	1.36	1.81	0.68	1.36	1.81
20	Enthalphy Make Up Water	KJ/kg	125.42	125.42	125.42	125.42	125.42	125.42
21	Gross Power Output	kW	26148.6	39170.9	52324.3	26102.6	39169.6	52324.9
22	Net Power Output	kW	25000	37500	50000	25000	37500	50000
23	Pemakaian Sendiri	kW	1148.6	1670.9	2324.3	1102.6	1669.6	2234.9
24	Net Plant Heat Rate	kJ/kW.hr	10586.48613	10555.4185	10554.09244	10506.93693	10460.77646	10453.98816
25	Net Plant Heat Rate GC	kJ/kW.hr	10585.92	10555.46	10553.6	10508.1	10459.9	10454.04
26	Boiler eff	%	93.53660598	93.72913045	93.77337822	94.25733338	94.52330267	94.77439414
27	Net Turbine Heat Rate	kJ/kW.hr	9895.926786	9826.323915	9782.311367	9900.40376	9827.194885	9804.714628
28	Plant Eff	%	34.01	34.1	34.11	34.26	34.42	34.44

#### 4.4.1 Analisa *Gross Power Output* Setelah Dilakukan Variasi



**Gambar 4.5** Grafik Perbandingan *Gross Power Output* pada Setiap Variasi

Gambar 4.5 diperoleh sebuah tren grafik *Gross Power Output*, nilai daya tersebut diperoleh berdasarkan nilai daya yang dihasilkan oleh satu tingkatan turbin sebelum dikurangi oleh pemakaian sendiri untuk pompa dan kompresor sebagai pendukung sistem pembangkit tersebut. Data pada gambar 4.5 didapatkan langsung dari *software GateCycle* dengan memvariasikan jenis bahan bakar dan juga menentukan besar *flow rate* bahan bakar dari setiap jenis bahan bakar agar menghasilkan

*Nett Power Output* yang sesuai dengan pembebanan yang divariasikan yaitu 25 MW, 37,5 MW, 50 MW.

Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa tren grafik diawali dengan pembebanan 50% dari dua jenis bahan bakar yaitu bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan Bahan Bakar Gas, dengan pembebanan 50% maka *Gross Power Output* yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* yaitu sebesar 26.148,6 kW. *Gross Power Output* yang dihasilkan oleh Bahan Bakar Gas yaitu sebesar 26.102,6 kW. *Gross Power Output* antara keduanya memiliki selisih yang tidak terlalu jauh.

Pada variasi tiga dan empat, dilakukan pengambilan data pada pembebanan 75% dari kedua jenis bahan bakar, yaitu bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan juga Bahan Bakar Gas. Dengan 75% pembebanan maka *Gross Power Output* yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* yaitu sebesar 39.170,9 kW. *Gross Power Output* yang dihasilkan dengan menggunakan Bahan Bakar Gas yaitu sebesar 39.169,6 kW.

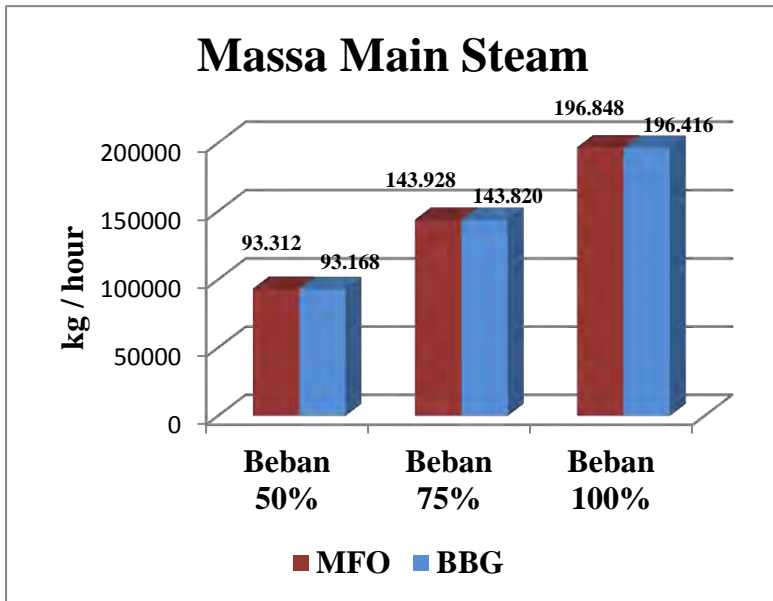
Pada variasi lima dan enam, dilakukan pengambilan data pada pembebanan 100% dari kedua jenis bahan bakar, yaitu bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan juga bahan bakar Bahan Bakar Gas. Dengan 100% pembebanan maka *Gross Power Output* yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* yaitu sebesar 52.324,3 kW. *Gross Power Output* yang dihasilkan dengan menggunakan Bahan Bakar Gas yaitu sebesar 52.234,9 kW.

*Gross Power Output* yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power Perak pada setiap variasi pembebanan dan variasi bahan bakar selalu memiliki selisih yang tidak terlalu besar. Pada gambar 4.5 dapat diambil kesimpulan bahwa *Power Output* yang dihasilkan adalah sama. *Power Output* yang dihasilkan sama, merupakan keuntungan yang didapatkan apabila mengganti bahan bakar

*Marine Fuel Oil* menjadi Bahan Bakar Gas, meskipun terdapat perbedaan *Low Heating Value* antara kedua jenis bahan bakar, namun *Power Output* yang dihasilkan sama.

Power Output yang dihasilkan sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dipengaruhi oleh besar atau kecilnya *flowrate mainsteam* yang dihasilkan sebuah *boiler*. Analisa berikutnya adalah analisa *flowrate mainsteam* yang dihasilkan setelah dilakukan beberapa variasi.

#### 4.4.2 Analisa Massa *Main Steam* Setelah Dilakukan Variasi



**Gambar 4.6** Grafik Perbandingan Massa *Main Steam* Setelah Dilakukan Variasi

Gambar 4.6 diperoleh sebuah tren grafik massa *main steam*, nilai *main steam* diperoleh setelah *main steam* melewati *super heater* satu dan *super heater* dua sebelum memasuki *steam*



*turbine*. Data pada gambar 4.6 diperoleh dari *software GateCycle* dengan memvariasikan pembebanan pembangkit dan juga pemvariasian jenis bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan bahan bakar Bahan Bakar Gas.

Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa tren grafik diawali dengan pembebanan 50% dari dua jenis bahan bakar yaitu bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan bahan bakar Bahan Bakar Gas, dengan pembebanan 50% maka massa *main steam* yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* yaitu sebesar 93.312 kg/hour. Massa *main steam* yang dihasilkan dengan menggunakan Bahan Bakar Gas yaitu sebesar 93.168 kg/hour.

Pada variasi tiga dan empat, dilakukan pengambilan data pada 75% pembebanan dari kedua jenis bahan bakar, yaitu bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan Bahan Bakar Gas. Dengan 75% pembebanan maka massa *main steam* yang dihasilkan oleh *boiler* dengan menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* sebesar 143.928 kg/hour. Massa *main steam* yang dihasilkan menggunakan Bahan Bakar Gas sebesar 143.820 kg/hour.

Pada variasi lima dan enam, dilakukan pengambilan data pada 100% pembebanan dari kedua jenis bahan bakar, yaitu bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan Bahan Bakar Gas. Dengan 100% pembebanan maka massa *main steam* yang dihasilkan oleh *boiler* dengan menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* sebesar 196.848 kg/hour. Massa *main steam* yang dihasilkan menggunakan Bahan Bakar Gas sebesar 196.416 kg/hour.

Massa *main steam* yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power Perak pada setiap variasi pembebanan dan variasi bahan bakar selalu memiliki selisih yang sedikit. Pada gambar 4.6 dapat diambil kesimpulan bahwa *flowrate mainsteam* yang dihasilkan *boiler*

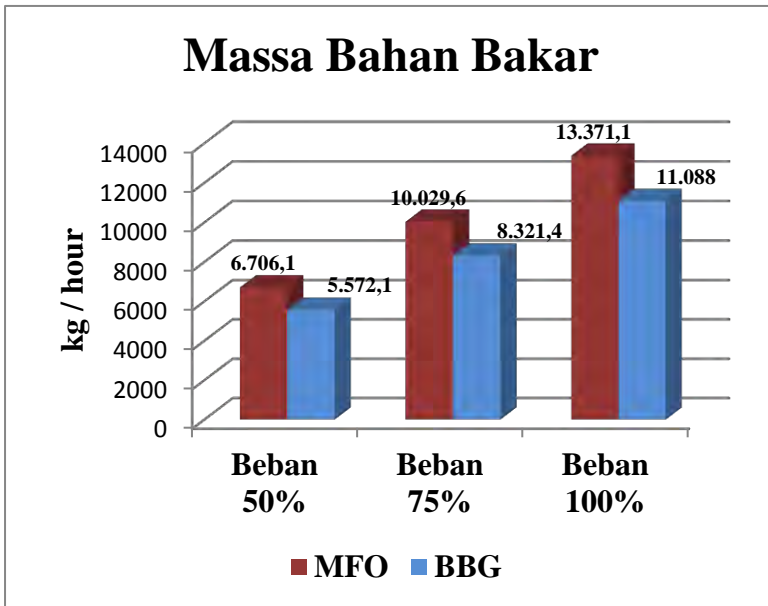
adalah sama. *Flowrate mainsteam* yang dihasilkan sama, merupakan keuntungan yang didapatkan apabila mengganti bahan bakar *Marine Fuel Oil* menjadi Bahan Bakar Gas, meskipun terdapat perbedaan *Low Heating Value* antara kedua jenis bahan bakar, namun *flowrate mainsteam* yang dihasilkan sama.

*Flowrate mainsteam* yang dihasilkan oleh *boiler* dipengaruhi oleh besar kecilnya Energi yang masuk ke boiler, pada kondisi ini *Heat Input* yang dimaksud adalah:

$$Q_{in} = \dot{m}_{\text{bahan bakar}} \times \text{LHV}_{\text{bahan bakar}}$$

dimana *Low Heating Value* memiliki angka yang berbeda sehingga *flowrate* dari bahan bakarpun ikut berubah untuk mencapai *power output* yang sama yang dihasilkan *steam turbine*. Analisa berikutnya adalah analisa *flowrate* bahan bakar yang dibutuhkan oleh *boiler* untuk beberapa variasi.

#### 4.4.3 Analisa Massa Bahan Bakar *Boiler* Setelah Dilakukan Variasi



**Gambar 4.7** Grafik Perbandingan *Flow Rate* Bahan Bakar pada Setiap Variasi

Gambar 4.7 diperoleh sebuah tren grafik *flow rate* bahan bakar, nilai *flow rate* bahan bakar tersebut diperoleh berdasarkan *Nett Power Output* setiap variasi beban. Sehingga dengan *Nett Power Output* yang sama, akan didapatkan *flow rate* bahan bakar yang berbeda dikarenakan *Heating Value* yang berbeda. Data pada gambar 4.7 didapatkan langsung dari *Software GateCycle*.

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa tren grafik diawali dengan beban Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Indonesia Power Perak sebesar 50%, yang kemudian dilanjutkan dengan pembebanan 75%, dan 100%. Pembebanan 50% Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Indonesia Power Perak memiliki *Nett*

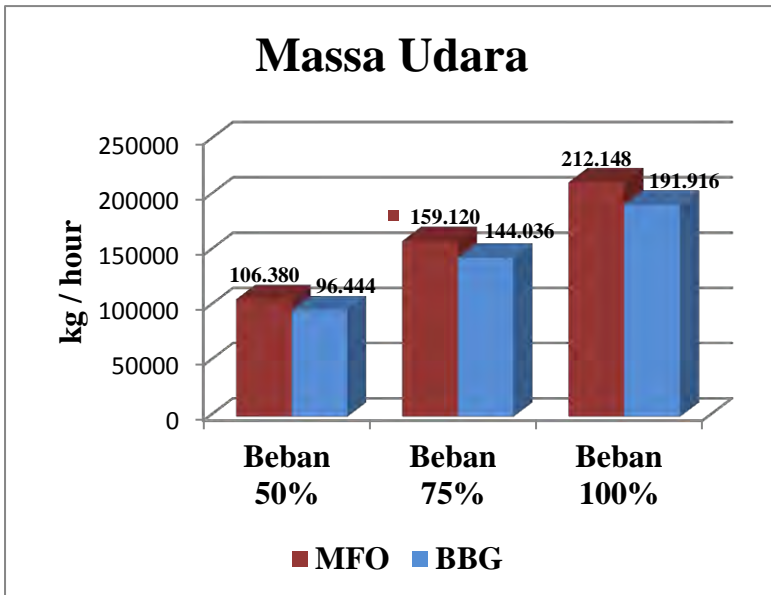
*Power Output* sebesar 25 MW, untuk 75% sebesar 37,5 MW dan 100% sebesar 50 MW. Pada variasi satu dan dua, dengan *Nett Power Output* 25 MW, didapatkan *flowrate* Bahan Bakar Gas sebesar 5.572,1 kg/hour yang lebih rendah dibanding *flowrate* bahan bakar *Marine Fuel Oil* sebesar 6.706,1 kg/hour. Hal ini terjadi karena *Heating Value* Bahan Bakar Gas jauh lebih tinggi dibanding dengan bahan bakar *Marine Fuel Oil*.

Pada variasi berikutnya, pembebanan 75% memiliki *Nett Power Output* sebesar 37,5 MW. Dapat dilihat bahwa *flowrate* Bahan Bakar Gas memiliki nilai sebesar 8.321,4 kg/hour, dimana angka ini lebih rendah dibanding *flowrate* bahan bakar *Marine Fuel Oil* 10.029,6 kg/hour. Hal yang menyebabkan *flowrate* Bahan Bakar Gas lebih kecil nilainya dibandingkan *flowrate* bahan bakar *Marine Fuel Oil* yaitu karena *Low Heating Value* Bahan Bakar Gas sebesar 47.141 kJ/kg dan *Low Heating Value* dari bahan bakar *Marine Fuel Oil* sebesar 39.466 kJ/kg.

Pada pembebanan 100% yang memiliki *Nett Power Output* sebesar 50 MW terlihat *flowrate* Bahan Bakar Gas sebesar 11.088 kg/hour tetap lebih kecil dibanding dengan *flowrate* bahan bakar *Marine Fuel Oil* yaitu sebesar 13.371,1 kg/hour.

Perbedaan *flowrate* bahan bakar disebabkan *Low Heating Value* yang menentukan seberapa besar energi yang dihasilkan oleh suatu bahan bakar setiap satuan berat. Semakin besar *Low Heating Value* suatu bahan bakar, maka semakin sedikit bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu besaran energi yang sama dibanding dengan suatu bahan bakar yang memiliki *Low Heating Value* yang lebih rendah.

#### 4.4.4 Analisa Massa Udara Setelah Dilakukan Variasi



**Gambar 4.8** Grafik Perbandingan Massa Udara pada Setiap Variasi

Gambar 4.8 diperoleh tren grafik *flow rate* udara yang disuplai oleh *FD fan* menuju ke dalam *boiler* sebagai udara yang dibutuhkan untuk memenuhi *stoikiometri* pembakaran. Pemvariasian dilakukan dengan tiga jenis pembebanan, yaitu pembebanan 50% dengan *Nett Power Output* sebesar 25 MW, 75% dengan *Nett Power Output* 37,5 MW, dan pembebanan 100% dengan *Nett Power Output* 50 MW.

Dapat dilihat pada gambar 4.8, tren grafik dimulai pada variasi pembebanan 50% dengan dua jenis bahan bakar yaitu dengan bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan Bahan Bakar Gas. Dengan menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* pada kondisi pembebanan 50% udara yang disediakan oleh *FD fan* adalah sebesar 106.380 kg/hour. Pada saat Pembangkit Listrik Tenaga

Uap (PLTU) PT. Indonesia Power Perak menggunakan Bahan Bakar Gas, udara yang disediakan oleh FD *fan* adalah sebesar 96.444 kg/hour.

Pada variasi tiga dan variasi empat, pengambilan data dilakukan pada pembebanan 75%. Bahan bakar yang digunakan oleh pembangkit ini ada dua jenis, yaitu bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan juga bahan bakar Bahan Bakar Gas. Pada saat menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil*, untuk menghasilkan *Nett Power Output* sebesar 37,5 MW udara yang harus disuplai FD *fan* adalah sebesar 159.120 kg/hour. Sedangkan pada saat pembangkit menggunakan bahan bakar Bahan Bakar Gas udara yang dibutuhkan adalah sebesar 144.036 kg/hour.

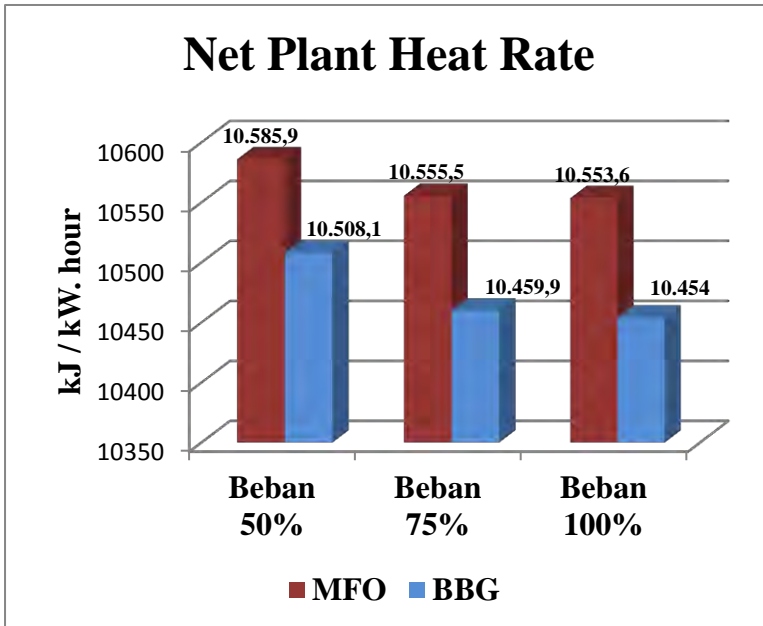
Pada variasi lima dan variasi enam, pengambilan data dilakukan pada pembebanan 100%. Pada saat pembangkit menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* untuk menghasilkan daya puncak sebesar 50 MW, FD *fan* menyuplai udara ke *boiler* sebesar 212.148 kg/hour. Sedangkan pada saat pembangkit menggunakan Bahan Bakar Gas untuk menghasilkan daya sebesar 50 MW, FD *fan* menyuplai udara ke *boiler* sebesar 191.916 kg/hour.

Dapat dilihat tren grafik yang ada pada gambar 4.8, dimana *flow rate* yang harus disediakan oleh FD *fan* meningkat seiring peningkatan beban yang diberikan. Hal ini terjadi karena ketika penambahan beban, maka *flowrate* bahan bakar juga meningkat.

*Air Fuel Ratio* dari bahan bakar *Marine Fuel Oil* yaitu 1 : 14,7 dan *Air Fuel Ratio* dari bahan bakar Bahan Bakar Gas yaitu 1 : 17,2 maka seharusnya udara yang disuplai FD *fan* lebih besar saat menggunakan Bahan Bakar Gas. Namun jumlah *flowrate* Bahan Bakar Gas yang dimasukan ke dalam *boiler* jauh lebih kecil dibanding *flowrate* bahan bakar *Marine Fuel Oil*. Sehingga udara yang disuplai oleh FD *fan* saat menggunakan Bahan Bakar

Gas lebih kecil. Hal ini membuktikan bahwa dengan penggantian bahan bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power Perak tidak memerlukan penggantian FD fan.

#### 4.4.5 Analisa *Heat Rate* Setelah Dilakukan Variasi



**Gambar 4.9** Grafik Perbandingan Heat Rate PLTU pada Setiap Variasi

Pada gambar 4.9, diperoleh tren grafik perbandingan *Heat Rate* pada semua kondisi yang sudah dilakukan variasi. Pada kondisi aktual, dengan jenis bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan beban 100% dengan *Nett Power Output* 50 MW, diperoleh *heat rate* sebesar 10.553,6 kJ/kW.hour. Seperti yang diketahui, semakin rendah *heat rate* pada sebuah pembangkit, maka semakin bagus performa pembangkit tersebut. Artinya, penggunaan bahan bakar untuk proses pembakaran di *boiler* terjadi secara efektif dan

daya yang dihasilkan optimal ketika nilai *heat rate* semakin rendah. Karena seperti yang kita ketahui, *heat rate* adalah perbandingan antara jumlah bahan bakar dengan daya yang dihasilkan. Perumusan *heat rate* adalah :

$$heat\ rate = \frac{\dot{m}_{bahanbakar} LHV_{bahan\ bakar}}{Nett\ Power\ Output}$$

Jika dilihat dari rumus yang ada, akan jelas terjadi perubahan daya yang dihasilkan, maka akan terjadi perubahan nilai *heat rate*, begitu pula ketika terjadi perubahan laju bahan bakar pada *boiler*, maka juga akan terjadi perubahan nilai *heat rate* dengan jenis bahan bakar yang sama.

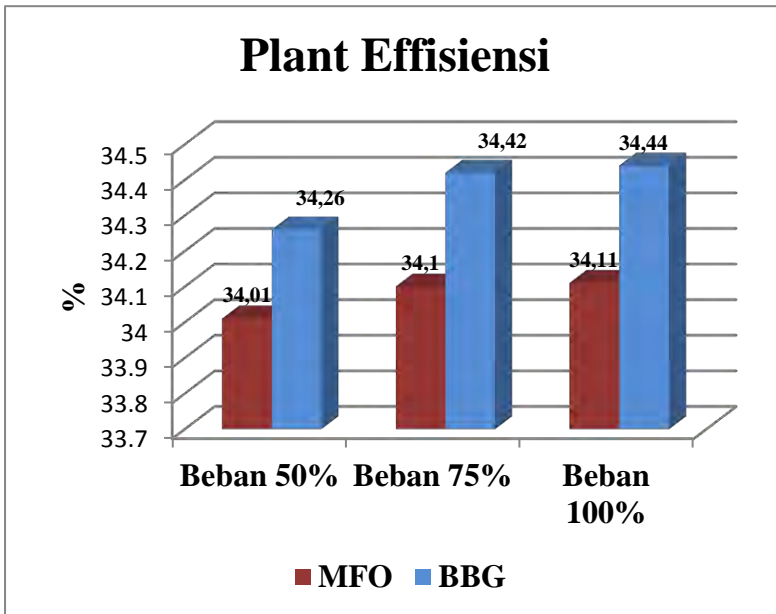
Pada variasi satu dan dua, dengan pembebanan 50% yang memiliki *Nett Power Output* sebesar 25 MW. Terlihat bahwa *heat rate* yang dihasilkan akan lebih rendah ketika Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power Perak menggunakan bahan bakar Bahan Bakar Gas sebesar 10.508,1 kJ/kW.hour dibanding menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* sebesar 10.585,9 kJ/kW.hour. Hal ini disebabkan karena pada saat pembangkit menggunakan Bahan Bakar Gas, *flow rate* Bahan Bakar Gas lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* meskipun *Low Heating Value* keduanya memiliki selisih yang cukup besar.

Pada variasi tiga dan empat, dengan pembebanan 75% yang memiliki *Nett Power Output* sebesar 37,5 MW. Terlihat bahwa *heat rate* yang dihasilkan akan tetap lebih rendah ketika Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power Perak menggunakan Bahan Bakar Gas sebesar 10.459,9 kJ/kW.hour dibanding dengan menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* sebesar 10.555,5 kJ/kW.hour.



Pada variasi lima dan enam, dengan pembebanan 100% yang memiliki *Nett Power Output* sebesar 50 MW. Terlihat bahwa *heat rate* yang dihasilkan semakin menurun pada kedua jenis pemakaian bahan bakar. Namun pada saat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power Perak menggunakan Bahan Bakar Gas, *heat rate* yang dihasilkan sebesar 10.454 kJ/kW.hour. Sedangkan pada saat pembangkit menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil*, *heat rate* yang dihasilkan sebesar 10.553,6 kJ/kW.hour. Hal ini juga membuktikan bahwa semakin besar pembebanan yang diberikan pada pembangkit, maka juga akan menurunkan *heat rate* dari pembangkit itu sendiri.

#### 4.4.6 Analisa Effisiensi Pembangkit Setelah Dilakukan Variasi



**Gambar 4.10** Grafik Perbandingan Effisiensi Pembangkit Pada Setiap Variasi

Gambar 4.10 menunjukkan peningkatan efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power Perak sesudah dilakukan pemvariasian. Pada kondisi eksisting, nilai efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power Perak adalah 34,11%. Semakin rendah efisiensi suatu pembangkit maka semakin buruk performa pembangkit tersebut. Hal ini menunjukkan perbandingan nilai jumlah daya yang dihasilkan dengan jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam *boiler*. Nilai dari efisiensi pembangkit sangat erat hubungannya dengan nilai dari *heat rate*, karena nilai efisiensi pembangkit memiliki rumusan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Pembangkit} = \frac{1}{\text{heat rate}} \times 100\%$$

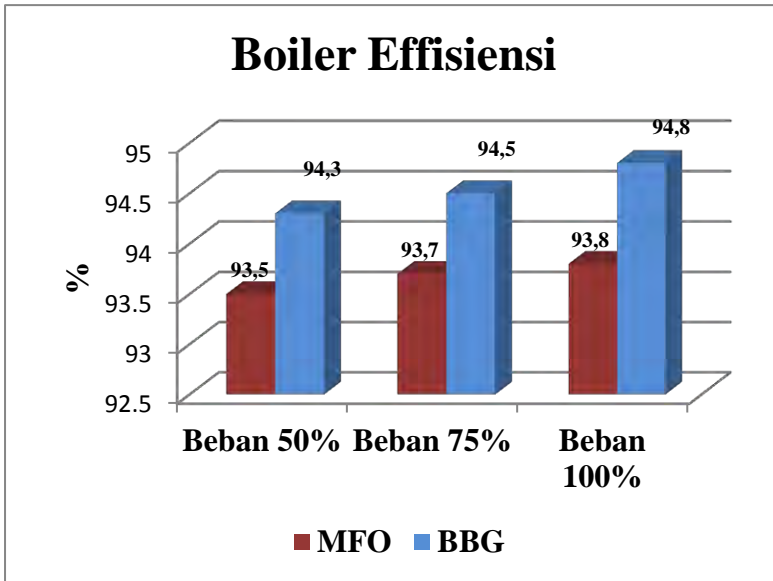
$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Pembangkit} \\ = \frac{\text{Power gross}}{\dot{m}_{\text{bahan bakar}} LHV_{\text{bahan bakar}}} \times 100\% \end{aligned}$$

Tren grafik dari penggunaan bahan bakar *Marine Fuel Oil* maupun Bahan Bakar Gas terlihat meningkat seiring dengan penambahan beban. Hal ini dikarenakan semakin meningkatnya beban, maka meningkat pula *Power Gross* yang dihasilkan. Semakin meningkatnya *Power* yang dihasilkan, maka *heat rate* semakin kecil.

Pada gambar 4.10 dapat dilihat terdapat selisih dari efisiensi pembangkit yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power Perak menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan juga Bahan Bakar Gas. Dengan menggunakan Bahan Bakar Gas, efisiensi pembangkit akan lebih tinggi dibanding dengan efisiensi pembangkit menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil*. Hal ini disebabkan karena perbedaan *Low Heating Value* kedua jenis bahan bakar. Dengan *Low Heating Value* Bahan Bakar Gas yang lebih tinggi, maka *flowrate* Bahan Bakar Gas akan lebih kecil untuk menghasilkan

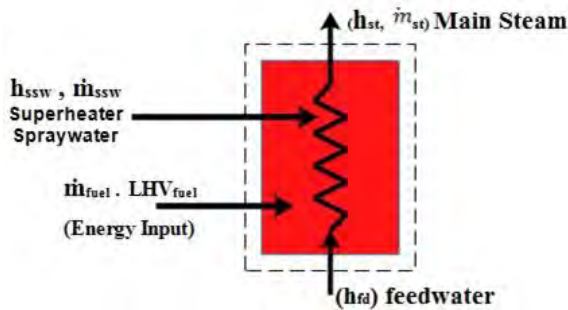
daya yang sama. Semakin kecil *flowrate* bahan bakar maka akan semakin kecil *Heat Rate*, maka efisiensi pembangkit akan lebih baik.

#### 4.4.7 Analisa Efisiensi *Boiler* Setelah Dilakukan Variasi



**Gambar 4.11** Grafik Perbandingan Efisiensi *Boiler* pada Setiap Variasi

Gambar 4.11 merupakan gambar grafik efisiensi *boiler* untuk perbandingan kondisi aktual dan setiap variasi yang dilakukan. Pada kondisi aktual, *boiler* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power Perak memiliki efisiensi sebesar 93,8%. Tren grafik menunjukkan bahwa variasi pembebanan dan variasi jenis bahan bakar memiliki pengaruh yang besar terhadap efisiensi *boiler*. Sebuah *boiler* dikatakan baik, apabila memiliki efisiensi yang tinggi. Artinya, *boiler* tidak membutuhkan banyak energi untuk meningkatkan entalpi dari fluida kerja. Perumusan efisiensi *boiler* sebagai berikut:



**Gambar 4.12** Heat Balance Boiler

- $$\text{Boiler efficiency}(\%) = \frac{\text{heat output}}{\text{heat input}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{(\dot{m}_{\text{steam}} \cdot h_{\text{steam}} - (\dot{m}_{\text{fwh}} \cdot h_{\text{fwh}} + \dot{m}_{\text{spray}} \cdot h_{\text{spray}}))}{\dot{m}_{\text{bb}} \cdot \text{LHV}_{\text{bb}}} \times 100\%$$

Seperti perumusan *boiler* di atas, yang mempengaruhi besarnya efisiensi *boiler* berdasarkan perubahan properties ketika dilakukan pemvariasian adalah *flowrate* dan entalpi dari fluida dari *feed water heater*, *flowrate main steam*, *flowrate* dan entalpi *spray*, dan juga *flowrate* bahan bakar.

Pada variasi satu dan variasi dua, pengambilan data pada pembebanan 50% dengan dua jenis bahan bakar yang divariasikan juga. Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan juga Bahan Bakar Gas. Pada keadaan pembangkit menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* efisiensi *boiler* bernilai sebesar 93,5%. Pada keadaan

pembangkit menggunakan Bahan Bakar Gas efisiensi *boiler* bernilai sebesar 94,3%.

Pada variasi tiga dan variasi empat, pengambilan data pada pembebanan 75% dengan dua jenis bahan bakar yang divariasikan juga. Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar *Marine Fuel Oil* dan juga Bahan Bakar Gas. Pada keadaan pembangkit menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* efisiensi *boiler* bernilai sebesar 93,7%. Pada keadaan pembangkit menggunakan Bahan Bakar Gas efisiensi *boiler* bernilai sebesar 94,5%.

Pada variasi lima dan variasi enam, pengambilan data pada pembebanan 100%. Pada keadaan pembangkit menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil* efisiensi *boiler* bernilai sebesar 93,8%. Pada keadaan pembangkit menggunakan Bahan Bakar Gas efisiensi *boiler* bernilai sebesar 94,8%.

Dapat dilihat pada tren grafik gambar 4.11, bahwa dengan menggunakan Bahan Bakar Gas, efisiensi *boiler* yang dihasilkan selalu lebih baik dibanding menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil*. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap, untuk menghasilkan daya *output* yang sama maka dibutuhkan *main steam* yang juga sama, *boiler* dalam menghasilkan dua buah jenis *main steam* yang sama maka dibutuhkan energi panas ( $Q_{in}$ ) yang sama ke dalam air. Namun dikarenakan karakteristik pembakaran dari *Marine Fuel Oil* dan Bahan Bakar Gas yang berbeda dimana hal ini ditentukan oleh *Heating Value* yang berbeda, maka *mass flow rate* yang dibutuhkan untuk diumpankan ke dalam *boiler* pun berbeda. *Mass Flow Rate* bahan bakar *Marine Fuel Oil* selalu lebih besar dibanding *Mass Flow Rate* bahan bakar Gas, sedangkan energi panas ( $Q_{in}$ ) yang dibutuhkan *boiler* untuk mengubah air menjadi *Superheated Steam* adalah sama, sehingga semakin besar energi panas yang terbuang ( $Q_{loss}$ ) apabila menggunakan bahan bakar *Marine Fuel Oil*.

*Marine Fuel Oil* mengandung residu dan juga *ash* (abu) yang jumlahnya tidak lebih dari 0,5%, namun keduanya dapat mengganggu dengan membentuk kerak dan mengurangi efisiensi perpindahan panas pada *walltube* dan juga *superheater*. Sehingga untuk memenuhi energi panas ( $Q_{in}$ ) yang dibutuhkan *boiler* untuk mengubah air menjadi uap jenuh juga menjadi lebih besar. Berbeda dengan bahan bakar gas yang bersih dan juga memiliki sifat mudah bercampur dengan udara, maka pembakaran akan langsung terjadi pada saat temperatur *ignition* tercapai dan tidak menghasilkan kerak yang mengganggu perpindahan panas dari *flue gas* ke air di dalam *walltube*.

*( Halaman Ini Sengaja Dikosongkan )*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pembahasan mengenai keseluruhan mengenai hasil simulasi dan perhitungan terhadap pengaruh penggantian bahan bakar *MFO* menjadi *CNG* terhadap performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Indonesia Power UBP Perak maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dengan penggantian bahan bakar *MFO* menjadi Bahan Bakar Gas, keuntungan yang didapat PT.Indonesia Power UBP. Perak yaitu rata-rata *Heat Rate* pembangkit mengalami penurunan sebesar 0,94% dan efisiensi pembangkit meningkat 0,96% pada setiap pembebanan.
2. Selain itu, dengan penggantian bahan bakar *MFO* menjadi Bahan Bakar Gas, keuntungan yang bisa didapat yaitu rata – rata efisiensi boiler meningkat 1,1% pada setiap pembebanan.
3. *Flowrate* bahan bakar Bahan Bakar Gas akan selalu lebih kecil 17,08% dibanding *flowrate* bahan bakar *MFO* pada beban yang sama dikarenakan *Low Heating Value* bahan bakar Bahan Bakar Gas jauh lebih besar dibanding *MFO*.
4. Dengan *Air Fuel Ratio* bahan bakar gas sebesar 1:17,2 tidak diperlukan penggantian *Force Draft Fan* yang lebih besar, dikarenakan *flowrate* bahan bakar gas lebih kecil 9,5% dibanding bahan bakar *MFO*.



## 5.2 Saran

Beberapa saran yang bisa diberikan setelah pelaksanaan tugas akhir antara lain sebagai berikut :

1. Perlunya pengikutsertaan perhitungan *pressure drop* dalam pelaksanaan tugas akhir ini, sehingga dalam perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Uap nantinya dapat diantisipasi.
2. Dalam perhitungan performa pembangkit dengan acuan Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Indonesia Power UBP Perak 50 MW harus memiliki data peralatan pembangkit yang lebih lengkap agar mempermudah permodelan.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Mechanical Engineers ANSI/ASME PTC 6, 2004 “*Performance Test Code Fired Steam Generator*”.
- Fay James A., Dan S. Golomb, dan Savvakis C. Zachariades, 1986, ***Feasibility and Cost of Converting Oil and Coal Fired Utility Boilers To Intermittent Use of Natural Gas***, Amerika : Massachusetts Institute of Technology
- Kaewboonsonga, W., V.I. Kuprianov, dan N. Chovichien, 2006, ***Minimizing fuel and environmental costs for a variable-load power plant (co-)firing fuel oil and natural gas: Part 1. Modeling of gaseous emissions from boiler units, Fuel Processing Technology***, Thailand : Sirindhorn International Institute of Technology.
- Kouprianov V.I., Chullapong Chullabodhi, dan Watcharee .K., 1999, ***Cost based optimization of excess air for fuel oil/ gas fired steam boilers***, Thailand : Sirindhorn International Institute of Technology.
- Kuprianov V.I., 2004, ***Application of a cost- based method of excess air optimization for the improvement of the thermal efficiency and environmental performance of steam boiler***, Thailand : Sirindhorn International Institute of Technology.
- Schneider, D.R dan Zeljko Bogdan, 2007, ***Effect of heavy fuel oil/natural gas co-combustion on pollutant generation in retrofitted power plant***, Croatia : University of Zagreb.
- Bureau of Energy Efficiency, 2004, ***Energy Efficiency in Thermal Utilities***, India : Ministry of Power.

- Moran MJ, Shapiro HN. 2006. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*". John Wiley & Sons Inc.
- Syukran, Dedi Suryadi. 2007. **Estimasi Penghmatan Biaya Operasi PLTU dengan Cara Penggantian Bahan Bakar**. Indonesia: Politeknik Negeri Lhokseumawe
- Juli. 2015. *Conversion Factors*. <URL: <http://www.epa.illinois.gov/topics/air-quality/planning-reporting/annual-emission-reports/tables/conversion-factors/index>. >.

## LAMPIRAN A

### Pengetahuan Software GateCycle

1. Software GateCycle adalah suatu program yang mensimulasikan siklus termal Pembangkit Listrik. Software ini digunakan sebagai dasar dalam mendesain ataupun mengubah suatu kondisi pembangkit yang sudah ada.
2. Software GateCycle bekerja dengan menggunakan perhitungan termodinamika tanpa memperhatikan *losses* pada sistem perpipaan. Pada penulisan Tugas Akhir ini, yang digunakan adalah pendekatan dengan ASME PTC 6, 2004.
3. Hasil yang ditunjukkan oleh Software GateCycle adalah semua properties *steam* dan *water* pada setiap posisi, *Heat Rate*, Efisiensi Pembangkit, *Nett Power Output*, dan *Gross Power Output*.

## LAMPIRAN B

### Konversi Satuan Konsumsi Bahan Bakar

1. BTU adalah singkatan dari *British Thermal Unit*, yang merupakan satuan energi/panas.
2. Konversi satuan untuk konsumsi bahan bakar yang diumpankan ke dalam *boiler* menjadi satuan BTU yang digunakan dalam pemasaran bahan bakar pada umumnya

$$\rho \text{ bahan bakar gas} = 0,717 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ Marine Fuel Oil} = 860 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ ft}^3 \text{ natural gas} = 1000 \text{ BTU}$$

$$1 \text{ lb fuel oil} = 19.000 \text{ BTU}$$

Sumber : (<http://www.epa.illinois.gov/topics/air-quality/planning-reporting/annual-emission-reports/tables/conversion-factors/index>)

Contoh :

*Natural Gas*

$$5572.08 \text{ kg} / 0,717 \text{ kg/m}^3 = 7771,4 \text{ m}^3$$

$$7771,4 \text{ m}^3 \times 35,3 \text{ ft}^3/1 \text{ m}^3 = 274.407,45 \text{ ft}^3$$

$$(274.407,45 \text{ ft}^3 \times 1.000 \text{ BTU/ } 1 \text{ ft}^3) / (1.000.000 \text{ BTU/ } 1 \text{ MMBTU}) = 274,33 \text{ MMBTU / hour}$$

*Marine Fuel Oil*

$$6706,08 \text{ kg} \times 2,2 \text{ lb} / 1 \text{ kg} = 14.784,2 \text{ lb}$$

$$(14.784,2 \text{ lb} \times 19.000 \text{ BTU} / 1 \text{ lb}) / (1.000.000 \text{ BTU} / \text{MMBTU}) = 280,3 \text{ MMBTU} / \text{hour}$$

#### Konsumsi Bahan Bakar

Bahan Bakar	Unit	Pembebanan (%)		
		50	75	100
BBG	MMBTU/hour	274.3297406	409.6867782	545.8945607
MFO	MMBTU/hour	280.314144	419.23728	558.912816

*( Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## **BIODATA PENULIS**

Faizal Hafiz Taqriri lahir di Malang pada tanggal 16 April 1992, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Gatot Soedjarwoto dan Budi Utami. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Kauman I Malang, MTsN Malang I, Sekolah Menengah Atas di SMAN 5 Malang. Setelah lulus dari Sekolah Menengah Atas tahun 2010 penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Jurusan Teknik Mesin dan lulus pada tahun 2015.

Selama kuliah di jurusan teknik mesin penulis aktif dalam berorganisasi dan berkegiatan, diantaranya sebagai Kepala Biro Riset dan Pelatihan Divisi Roda 2 Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin. Selain itu, penulis juga berkegiatan dalam bidang akademik diantaranya menjadi asisten dan grader Laboratorium Perpindahan Panas Dan Massa (2014-2015). Dan pada pengerjaan tugas akhir ini, penulis mengambil bidang studi konversi energi. Untuk semua informasi dan masukan dapat menghubungi penulis melalui email [Faizalhafiz164@yahoo.com](mailto:Faizalhafiz164@yahoo.com)